

**VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS DE TRANSPORTE EM ÁREAS DE
INUNDAÇÃO:
uma mudança nos padrões de mobilidade e a busca pela adaptação às
alterações climáticas**

Camila Santos Medeiros

**Dissertação de Mestrado Urbanismo Sustentável e Ordenamento
do Território**

Maio, 2019

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Urbanismo Sustentável e Ordenamento do Território, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor António Carmona Rodrigues e Coorientação da Professora Doutora Maria Fernanda Rodrigues Campos Lemos

*Aos meus pais e irmã,
por tornarem este e todos os outros sonhos possíveis.*

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor António Carmona Rodrigues, pela contribuição para a realização deste trabalho.

À minha coorientadora, Professora Maria Fernanda Lemos, por todo o conhecimento partilhado, disponibilidade, apoio e parceria, sem os quais não seria possível a concretização deste trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais e irmã, meus grande incentivadores, pelo carinho e amor incondicionais, por compreenderem as minhas escolhas e possibilitarem mais uma vez a realização de um sonho.

Aos meus amigos, os da vida inteira e os que eu tive o prazer de encontrar ao longo dessa caminhada, pelo incentivo, carinho, paciência e por, com certeza, tornarem esta experiência menos penosa.

A todos vocês, o meu muito obrigada.

**NOTA: ESTE TRABALHO FOI ESCRITO EM PORTUGUÊS DO BRASIL POR OPÇÃO
DA AUTORA.**

Resumo

As alterações climáticas são já há algumas décadas consideradas uma ameaça real às cidades, que via de regra não estão preparadas para lidar com a incerteza que caracteriza o referido fenômeno, tampouco com seus impactos. Nas cidades costeiras essa ameaça é ainda maior em função de fenômenos como a elevação do nível médio do mar e as alterações nos padrões de precipitação intensa de curta duração, que aumentam exponencialmente o risco de inundação destes territórios, ameaçando a sua manutenção e desenvolvimento no futuro. Sendo os sistemas de transporte uma das estruturas principais para o funcionamento de uma cidade, a vulnerabilidade destes à momentos de inundação, pode determinar um alto risco para suas funções básicas. O que este trabalho pretende é abordar a vulnerabilidade dos sistemas de transporte às inundações em cidades costeiras; como os impactos das alterações climáticas são ou serão capazes de alterar os padrões de mobilidade em uma cidade; e como é possível responder a estas incertezas através dos processos de adaptação para a resiliência, com exemplos práticos de cidades que tiveram que lidar com estas questões em situações pós-desastre.

Palavras-chave: alterações climáticas; adaptação; mobilidade urbana; inundação; resiliência;

Abstract

Climate change has for some decades been considered a real threat to cities, which are mostly not prepared to deal with the uncertainty that characterizes this phenomenon, nor with its impacts. In coastal cities, this threat is even greater because of phenomena such as the rise in mean sea level and changes in the patterns of intense short-term precipitation that exponentially increase the risk of flooding of these territories, threatening their maintenance and development in the future . In the other hand, transport systems are one of the main structures for the operation of a city, so their vulnerability to flooding can determine a high risk for one of the basic urban functions. What this paper intends is to address the vulnerability of flood transportation systems in coastal cities; how the impacts of climate change are or will be able to change the mobility patterns in a city; and how these uncertainties can be addressed through adaptive processes for resilience, with practical examples of cities that have had to deal with these issues in post-disaster situations.

Keywords: climate change; adaptation; urban mobility; floods; resilience

Sumário

Lista de Figuras	10
Lista de Abreviaturas	13
Introdução.....	14
Metodologia.....	21
1 Enquadramento teórico	24
1.1 Alterações Climáticas e inundação urbana.....	24
1.1.1 A inundação urbana e os padrões de ocupação	27
1.1.2 Risco e Vulnerabilidade associados à inundação	30
1.1.3 Impactos das Alterações Climáticas e a provável intensificação do problema das inundações	34
1.2 As megacidades costeiras	39
1.2.1 Contexto demográfico e socioeconómico.....	40
1.2.2 Vulnerabilidade costeira à inundação	44
1.3 Mobilidade Urbana.....	48
1.3.1 O modelo atual e a necessidade de mudança de paradigma	49
1.3.2 Vulnerabilidade dos sistemas de transporte às Alterações Climáticas....	50
1.3.3 Impactos das inundações na mobilidade urbana.....	54
1.4 Adaptação e Resiliência	61
1.4.1 Categorias de Adaptação.....	63
1.4.2 Adaptação dos sistemas de transporte	75
1.4.3 Conclusões parciais	94
2 Abordagem Teórico Metodológica	97
2.1 Seleção de Cidades	97
2.2 Critérios de Análise.....	99
3 Experiências analisadas	103
3.1 Cidade de Nova York:.....	103
3.1.1 MAT Capital Program 2015-2019	107
3.2 Jakarta, Indonésia.....	117

3.2.1	Master Plan - National Capital Integrated Coastal Development 2014 (NCICD)	117
3.3	Rio de Janeiro, Brasil.....	126
3.3.1	Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro 2016	128
4	Resultados	134
5	Conclusão.....	140
6.	Anexos	148
	ANEXO I.....	148
	ANEXO II.....	149
7.	Bibliografia.....	151

Lista de Figuras

Figura 1 - Impactos Hidrológicos da Urbanização – (Andjelkovic 2001 apud Santato, Bender, & Schaller, 2013) - Tradução do autor	29
Figura 2 - Modelo de Fonte, Caminho e Receptor - Fonte: Lamond et.al, 2012 - Tradução do autor	33
Figura 3 - <i>Níveis de água e 'storm surge'- fonte: Coastal Mapping Process Infographic – FEMA (2016)</i>	46
Figura 4 - <i>Zonas de risco de inundação costeira - fonte: Coastal Mapping Process Infographic – FEMA (2016)</i>	47
Figura 5 - <i>Fluxograma de causa e efeito para os perigos oferecidos por mudanças nos padrões de precipitação e no nível do mar - As caixas de cor amarela representam impactos de primeira ordem a partir dos perigos climáticos; as de cor laranja, os impactos diretos e indiretos sobre a infraestrutura e os sistemas de transportes. As caixas vermelhas representam os potenciais impactos na mobilidade urbana como um todo; e as caixas verdes, os impactos indiretos de maior amplitude. Fonte: (ITDP, Estudo Técnico - Adaptação às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana, 2017)</i>	55
Figura 6 - Quadro para estratégia de adaptação para desenvolvimento do transporte urbano. Fonte: (Eichhous, 2009)	80
Figura 7 - Trabalhadores da MTA limpando um dreno entupido na estação de metrô de Cortland Street para prevenir inundações durante chuvas intensas	105
Figura 8 - Cobertura removível nas entradas das estações de metrô – Fonte: http://web.mta.info – acesso em fevereiro de 2019.	110
Figura 9 - Novos cabos que passam pelos duct banks e nova sala de bombas no projeto de recuperação e adaptação do Montague Tube – túnel submerso para metrô da linha R – Fonte: MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report	110
Figura 10 - Preparação da tempestade pré-Sandy, inundações durante o Sandy, condição atual no portal da rua 148 com projeto de medidas de proteção contra inundações – Fonte: MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report	111
Figura 11 - Materiais reciclados para os trilhos na Estação Terminal St George e restauração Post Sandy. Fonte - Fonte: MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report	111

Figura 12 - Rockaway Line restaurada em 2013 - Fonte: MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report	112
Figura 13 - Parede flexível instalado no depósito de ônibus Michel J. Quill – Fonte: MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report	113
Figura 14 - Barreira inflável contra inundação no Hugh L. Carey Tunnel (HLCT) – Fonte: MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report.....	114
Figura 15 - Possibilidade de soluções de longo prazo para proteção da zona costeira de Jakarta – Fonte: NCICD,2014	120
Figura 16 - Imagem do Master Plan de Great Garuda – Fonte: NCICD,2014 ...	122
Figura 17 - Master Plan Fase B – Sistema de transporte em Great Garuda - Fonte: NCICD,2014.....	122
Figura 18 - Ilustração de implantação das vias - Fonte: NCICD,2014.....	123
Figura 19 - Ruas alagadas e trânsito interrompido devido às inundações em abril de 2019 - Fonte: https://www.bbc.com – acesso em abril de 2019.....	126
Figura 20 - Danos à infraestrutura e veículos: Estradas e ônibus danificados / Parte da ciclovía Tim Mai que desabou pela 4ª vez desde a sua construção em função das fortes chuvas e maré alta –Fonte: https://www.bbc.com – acesso em abril de 2019	127
Gráfico 1 - Número de eventos de inundação reportados – Fonte: (Jha, Bloch, & Lamond, 2012).....	28
Gráfico 2 - <i>População mundial rural e urbana, entre 1950-2050 (United Nations, 2015)</i>	41
Gráfico 3 - <i>Distribuição da população urbana mundial por classe de tamanho do assentamento urbano e número de cidades, 1970, 1990, 2014 e 2030 (United Nations, 2015)</i>	41
Gráfico 4 - Critério da Coerência – Produção do autor	134
Gráfico 5 - Critério da Multiplicidade de ações – Produção do autor.....	136
Gráfico 6 - Critério da Abordagem – Produção do autor	137
Gráfico 7 - Critério da Eficácia – Produção do autor.	138
Gráfico 8 - Critério da Efetividade – Produção do autor.	139

Tabela 1 - Tipos e causas de Inundação - Fonte: Jha, Bloch, & Lamond, 2012, p. 56 - Tradução do autor.	27
Tabela 2 - Impactos da elevação do nível do mar nas infraestruturas rodoviárias – Adaptado e traduzido pelo autor com base em (Eichhors, 2009).....	84
Tabela 3 - Impactos do aumento da precipitação nas infraestruturas rodoviárias – Adaptado e traduzido pelo autor com base em (Eichhors, 2009).....	85
Tabela 4 - Impactos d elevação do nível do mar nas infraestruturas ferroviárias – Adaptado e traduzido pelo autor com base em (Eichhors, 2009)	88
Tabela 5 - Impactos do aumento da precipitação nas infraestruturas ferroviárias – Adaptado e traduzido pelo autor com base em (Eichhors, 2009).....	89
Tabela 6 - Impactos do aumento da precipitação nos veículos e comportamento dos passageiros – Adaptado e traduzido pelo autor com base em (Eichhors, 2009)	92
Tabela 7 - Resumo da classificação das opções de adaptação utilizadas neste trabalho - Produção do autor	95
Tabela 8 - Tabela Resumo da ferramenta de apoio à processos de avaliação.	102
Tabela 9 – Tabela com a sistematização das opções de adaptação adotadas no MTA Capital Program de Nova York	116
Tabela 10 - Tabela com a sistematização das opções de adaptação adotadas no Master Plan - National Capital Integrated Coastal Development 2014 (NCICD)	125
Tabela 11 - Tabela com a sistematização das opções de adaptação adotadas na Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro 2016	133

Lista de Abreviaturas

AR4 - Fourth Assessment Report

AR5 - Fifth Assessment Report

FEMA - Federal Emergency Management Agency

GEE – Gases de Efeito Estufa

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

ITDP - Institute for Transportation and Development Policy

LECZ - Low-elevation coastal zone

PBMC – Painel Brasileiro para a Mudança Climática

PPS 25 - Planning Policy Statement 25

RMs – Regiões Metropolitanas

ONU Habitat - United Nations Human Settlements Programme

UNESCO / WMO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization / WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - International Glossary of Hydrology

UNISDR – Terminology on Disaster Risk Reduction

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change

TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação

ICZM - Integrated Coastal Zone Management

UKCIP - UK Climate Impacts Program

AAEs - Avaliações Ambientais Estratégicas

PlaNYC - A Stronger, More Resilient New York

NPCC - New York City Panel on Climate Change

MTA - Metropolitan Transportation Authority

JCDS - Jakarta Coastal Defense Strategy

NCICD - Integrated Coastal Development of National Capital

COR - Centro de Operações Rio

Introdução

Mais da metade da população mundial vive atualmente em cidades e, para os próximos anos, esses números tendem a ser ainda maiores. Alguns estudos apontam que esse aumento populacional é esperado principalmente em cidades costeiras e estas deverão enfrentar muitos desafios relacionados às alterações climáticas (McGranahan et al., 2007). As áreas urbanas, de um modo geral, sofrerão com o aumento do número de ondas de calor, maior frequência e intensidade de secas, chuvas com consequentes inundações, e no caso de cidades costeiras, soma-se ainda as ameaças a elevação do nível do mar e a ocorrência de tempestades costeiras, que deverão gerar impactos sobre os habitantes, as infraestruturas e os ecossistemas (IPCC, 2014).

Segundo Ribeiro e Santos (2015), estes impactos afetarão quatro principais setores na maioria das cidades: o sistema local de energia; demanda e fornecimento de água, e tratamento de esgoto; transporte e saúde pública.

Assistimos atualmente a consolidação do que Ulrich Beck (1986), chama de sociedade de risco, que surge a partir da obsolescência da sociedade industrial em função da sua própria dinâmica capitalista. As ameaças e problemas gerados pela sociedade industrial ocasionaram uma insegurança generalizada e abriram caminho para o questionamento da ordem social convencional, num processo de auto confrontação que desencadeia diversos fenômenos sociais, entre eles a “incerteza”.

Segundo Lemos (2010), na conformação da sociedade de risco o relacionamento com os recursos naturais é transformado e passa-se a questionar a necessidade de limitação para o desenvolvimento segundo o modelo industrial, que desencadeará a construção do discurso e das metas de sustentabilidade ambiental, em escala global. A necessidade que se coloca à sociedade de risco para redefinição dos padrões utilizados até o momento considerando ameaças potenciais, embora estas não tenham contornos definidos, vai de encontro com a própria natureza do fenômeno das alterações climáticas, caracterizado também pela incerteza e a urgência nas ações.

Questões relativas ao planejamento urbano, como crescimento desordenado das cidades, a qualidade das infraestruturas, a emissão de gases de efeito estufa (GEE), a desigualdade social e a pobreza são por vezes agravados em função do despreparo

para enfrentar problemas relacionados às alterações climáticas, apontando para a necessidade de se buscar a resiliência, através da adaptação para a redução das vulnerabilidades.

Diante dos cenários futuros, com elevado grau de incerteza e instabilidade em função das alterações climáticas, a mobilidade urbana, como sistema estrutural de uma cidade, deve ser tratada com atenção. Os sistemas de transporte proporcionam o acesso da população a serviços como educação, saúde, trabalho, lazer, entre outros, além das trocas interpessoais e de mercadorias.

Segundo Wegener (2009), a distribuição da infraestrutura no sistema de transporte, cria oportunidades de interação espacial que pode ser medida através da acessibilidade. Este fato está relacionado com o planejamento do uso do solo que determinará as distâncias percorridas e o tipo de modal escolhido, influenciando diretamente na emissão de gases de efeito estufa.

O setor de transporte representa cerca de 30% das emissões globais de CO₂, com o transporte urbano representando mais da metade desse valor (Mehrotra, et al., 2011). Em função da grande contribuição dos sistemas de transporte para as alterações climáticas, a necessidade de mitigação para redução das emissões, já é um consenso e requer uma abordagem integrada para enfrentar o consumo de energia urbana, combinando tanto a política de transporte quanto a política de uso da terra, devido às complexas inter-relações entre estes setores.

Entretanto, os impactos das alterações climáticas podem afetar uma série de serviços e funções urbanas desempenhados pelo sistema de transporte se estes não estiverem preparados, assim como os outros sistemas urbanos, para enfrentar os desafios futuros relacionados ao clima. A lista de impactos é extensa, abrangendo danos estruturais e materiais de muitos tipos diferentes e interrupção de serviços de transporte para os usuários, dependendo do tipo de instalação de transporte, sua localização e os tipos de materiais e design utilizados (Mehrotra, et al., 2011).

Situações de alagamento, por exemplo, podem causar interrupções ou redução do desempenho nos modos de deslocamento, podendo interferir direta ou indiretamente no padrão de comportamento da população e na distribuição de insumos e serviços em uma cidade (ITDP, 2015). Por se tratar de um sistema complexo e interconectado, os impactos nos transportes podem gerar um efeito dominó, com consequências maiores que os próprios impactos climáticos. Questões sociais como a

falta de acesso, principalmente das famílias mais pobres, aos serviços urbanos e a incapacidade de proporcionar meios de evacuação e abastecimento em situações de desastres, deixam ainda mais evidente a forma como os impactos, ainda que indiretos, causados pelas inundações na mobilidade urbana afetam as cidades e as populações.

Muitas cidades já sofrem atualmente com os impactos climáticos sobre seus sistemas de transporte, com paralisações em suas funções vitais, perdas econômicas significativas e eventuais perdas humanas. Levando em consideração que estes impactos deverão ser agravados pelos efeitos das alterações climáticas e que o número de dias em que o sistema é confrontado com estresses extremos aumentará, é necessário garantir um sistema de transporte urbano resiliente para evitar grandes e dispendiosas interrupções na vida urbana.

Partindo do pressuposto de que os impactos das alterações climáticas, principalmente o aumento do nível médio do mar e as alterações dos padrões de precipitação, exacerbam a ameaça de inundação nas cidades, e que esta poderá afetar negativamente a mobilidade como um todo, o que este trabalho pretende é contribuir para processos de avaliação das soluções de adaptação para redução na vulnerabilidade no setor dos transportes, em megacidades costeiras. Através da criação de uma ferramenta de apoio que sistematiza as "experiências de adaptação¹" dos sistemas de transporte nas cidades de Nova York, Jakarta e Rio de Janeiro, espera-se criar um caminho para estudos futuros sobre as melhores abordagens, na busca por uma mobilidade mais resiliente.

A estrutura deste trabalho está dividida em uma parte introdutória que apresenta a justificativa, os objetivos e a metodologia da pesquisa; um primeiro capítulo onde é feita uma revisão bibliográfica, a apresentação de alguns conceitos e a construção do estado da arte; o segundo capítulo onde é apresentada a abordagem teórico-metodológica para a seleção das experiências a serem analisadas e os critérios de análise criados; o terceiro capítulo onde são descritas e analisadas as soluções de adaptação de cada cidade escolhida, seguidas da apresentação dos resultados; e o quarto e último capítulo com as conclusões desta dissertação.

¹ O termo experiências de adaptação utilizado nesta dissertação inclui planos e projetos de adaptação para as cidades.

Justificativa

As inundações urbanas, que já são hoje um dos desastres ambientais de maior impacto nas cidades (Jha, Bloch, & Lamond, 2012), serão cada vez mais frequentes, devido às alterações dos padrões de precipitação, à ameaça de elevação do nível do mar e a intensificação no número de eventos climáticos extremos. Muitas das grandes cidades do mundo estão localizadas em zonas costeiras e são, portanto, muito expostas à elevação do nível do mar e outros fenômenos climáticos como tempestades costeiras. Muitas vezes são profundamente vulneráveis a esses fenômenos e sofrem com o impacto de inundações, principalmente no contexto atual das alterações climáticas, em que eventos deste tipo tendem a ocorrer com maior frequência e magnitude. A sua localização e a quantidade de pessoas e bens expostos às ameaças climáticas, fazem com que estas cidades estejam sob grande risco.

Ao longo da história, as cidades costeiras de deltas e estuários lidaram sempre com a ameaça de inundação, fosse marítima, fluvial ou pluvial, numa busca constante pelo equilíbrio entre as vantagens e os riscos inerentes a estes territórios. A localização estratégica nas rotas marítimas comerciais e a grande disponibilidade de recursos naturais, fizeram destas cidades importantes pólos de desenvolvimento social e econômico, o que contribuiu para a sua expansão territorial e o aumento populacional durante todo o séc. XX, dando origem a muitas das maiores metrópoles do mundo. Atualmente, a manutenção e o desenvolvimento destas grandes cidades costeiras encontram-se ameaçados pelos impactos das alterações climáticas, visto que estes podem afetar, direta ou indiretamente, muitas das estruturas e sistemas urbanos importantes, causando grandes prejuízos em termos econômicos e de qualidade de vida, dada a concentração de pessoas e bens, particularmente infraestruturas relacionadas às atividades industriais portuárias.

Muitos estudos têm sido feitos na expectativa de criar cenários futuros que apontem os riscos dos impactos das alterações do clima nas cidades, a fim de evitar maiores desastres e perdas. É neste sentido que esta dissertação pretende abordar um tema de extrema importância para as cidades: a mobilidade urbana e a forma como as cidades estão lidando com este setor específico da estrutura urbana, em relação aos impactos, não mais tão futuros, das alterações climáticas.

No que diz respeito à mobilidade urbana e alterações climáticas, muito é dito sobre os impactos da primeira em relação à segunda, como causa e efeito respectivamente. Porém, pouco ainda é dito sobre a relação inversa. Como as alterações climáticas poderão impactar a mobilidade urbana²?

Os sistemas e infraestruturas que garantem a vitalidade e o bom funcionamento de uma cidade, podem por vezes entrar em colapso durante um evento de inundação, e as consequências podem ser catastróficas. A rede de transporte, por exemplo, é uma das infraestruturas vitais para o funcionamento de uma cidade, pois permite a mobilidade de bens e pessoas, promovendo o acesso à saúde, trabalho, lazer, moradia, entre outros, além de, o escape de pessoas de áreas impactadas, colaborando para planos de contingência e segurança em geral. Se os sistemas de transporte não estiverem preparados para resistir a momentos de inundação (bem como a outros impactos das alterações climáticas), corre-se o risco de paralisação ou engessamento do ir e vir nas cidades, principalmente as costeiras, limitando ou impedindo o acesso da população à cidade e aos serviços urbanos. Isto torna as cidades disfuncionais em momentos de impacto, na medida em que impede a fuga das áreas mais afetadas, o que dificulta a aplicação de planos de contingência³ para momentos de crise.

Num futuro marcado pela incerteza e por cenários onde a ocorrência de eventos climáticos extremos tende a ser cada vez maior, faz-se necessário pensar como a mobilidade nas cidades será afetada. O clima afeta a segurança, as operações e a manutenção da infraestrutura e dos sistemas de transporte (National Research Council, 2008), podendo causar grandes perdas econômicas, já que os investimentos em transporte são geralmente altos e resultam em infraestruturas pensadas para durar por décadas.

² Existem muitas definições para o termo ***mobilidade***. Para Brandão (2012) “a noção de mobilidade está relacionada com o grau de liberdade com que nos podemos movimentar em determinado espaço (capacidade de deslocação); é assim um conceito que traduz o modo e a intensidade em que se desloca”, e que está na base da construção de sistemas urbanos, com três subsistemas principais (transporte público, transporte individual e deslocação pedonal).

Para outros autores (CMB, 2008 : 233) mobilidade é “a capacidade de movimentação que as pessoas revelam em função das suas necessidades e do seu interesse em viajar, dos meios à disposição e da acessibilidade proporcionada pelos sistemas de transportes”.

³ O Glossário de Terminologia sobre Redução do Risco de Desastres desenvolvido pela UNISDR em 2009, define ***plano de contingência*** como: “Um processo de gerenciamento que analisa riscos de desastres e estabelece acordos com antecedência para permitir respostas oportunas, eficazes e apropriadas.”- tradução nossa – disponível em <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology#letter-d> – (acesso em 17 de setembro de 2018)

Os impactos das alterações climáticas na mobilidade, estudados nesta dissertação em eventos de inundação urbanas, podem ser classificados como: i) impactos nas infraestruturas de transporte; ii) impactos nos veículos; e iii) impactos nos padrões de mobilidade, como a possibilidade de mudanças nas escolhas individuais de locomoção, que podem ser influenciadas pelo fornecimento de opções de mobilidade acessíveis, eficientes, confortáveis e seguras, mesmo sob más condições climáticas. Os impactos nas infraestruturas e nos veículos se dão principalmente em função dos danos físicos e operacionais do sistema, já o impacto nos padrões de mobilidade, estão intimamente ligados às escolhas políticas (públicas) sobre projeto de sistemas de transporte, infraestrutura e veículos (Eichhorns, 2009).

Os planejadores de transporte frequentemente utilizaram os padrões climáticos históricos para orientar suas operações e investimentos em infraestruturas, incluindo as de transporte. Porém estes padrões não parecem ser mais um guia confiável para planos futuros, já que as incertezas trazidas pelas alterações climáticas se sobrepõem à variabilidade natural do clima, criando novas classes (em termos de magnitude e frequência) de extremos climáticos, não experimentadas anteriormente (National Research Council, 2008).

Muitas redes e instalações de transporte, por exemplo, são projetadas com capacidade adequada de drenagem e bombeamento para lidar com tempestades de 100 anos, assim como os ciclos de materiais e manutenção são voltados para suposições sobre a temperatura e os níveis de precipitação. Muitos dos planos e rotas de evacuação para momentos críticos, como quando ocorre um furacão, ou para locais propensos a tempestades, também são baseados nas atuais elevações e suposições sobre tempestades e ação das ondas. Mas e se a tempestade de 100 anos se tornasse a tempestade de 50 ou 30 anos, ou se os limites dos projetos fossem frequentemente extrapolados, ou ainda se as próprias rotas de evacuação se tornassem vulneráveis? (National Research Council, 2008).

Tais mudanças nos padrões climáticos colocam uma série de desafios sobre o futuro e podem exigir critérios de design diferentes, políticas de gerenciamento, ciclos de manutenção e estratégias operacionais, incorporando dados de previsões climáticas futuras, com alto grau de incerteza, aos projetos e gerenciamento destas infraestruturas de transporte. Alguns dos eventos climáticos extremos que aconteceram recentemente no mundo, deram aos planejadores a oportunidade de observar muitas das

vulnerabilidades dos sistemas e infraestruturas de transporte e como estas poderiam se comportar no futuro.

Além da possibilidade de redução da vida útil do projeto para as infraestruturas, o aumento da frequência de eventos extremos também pode causar danos simultâneos em diversos lugares, o que torna mais difícil o trabalho de equipes de emergência que são normalmente capazes de encontrar alternativas para a movimentação de pessoas e cargas, em grande parte porque os eventos climáticos ocorrem sequencialmente e em períodos não muito frequentes.

Além disso, se a atual aceleração da elevação do nível do mar continuar, como previsto em diversos estudos, o que acontecerá com as infraestruturas costeiras de transporte (rodovias, trilhos de trem e metrô)? Muitas destas infraestruturas, que desempenham um papel vital para as cidades, inclusive como rotas críticas de evacuação, poderiam ser comprometidas pela invasão do mar e grandes tempestades.

Todas estas questões apontam para o dilema vivido atualmente pelos tomadores de decisões de transporte sobre o que fazer em uma situação pós desastre ou para evitar grandes desastres sobre o sistema existente: reconstruir, reconstruir de maneira diferente, realocar infraestruturas críticas de transporte (National Research Council, 2008, p. 29), ou na pior das hipóteses abandoná-las e/ou investir na mudança de paradigma nos modos de locomoção nas cidades (Willows, 2003).

Para que essa decisão seja tomada, na busca pela construção de um sistema resiliente⁴, capaz de enfrentar as ameaças climáticas futuras, é necessário entender o grau de vulnerabilidade destas infraestruturas às inundações no contexto das alterações climáticas e de seus impactos futuros previstos e buscar as melhores soluções de adaptação. Neste sentido, esta dissertação busca responder algumas destas questões, com o objetivo de contribuir para o enfrentamento do problema.

⁴ Segundo o Glossário de Terminologia sobre Redução do Risco de Desastres desenvolvido pela UNISDR resiliência é: “A capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposta a perigos de resistir, absorver, acomodar, adaptar-se, transformar e recuperar dos efeitos de um perigo de maneira oportuna e eficiente, inclusive através da preservação e restauração de suas estruturas básicas essenciais e funções através da gestão de riscos.”- tradução do autor

Questões centrais:

- Como as megacidades costeiras estão adaptando seus sistemas de transporte aos impactos das Alterações Climáticas (especificamente em relação à inundação) na busca pela resiliência?
- Quais soluções de adaptação foram adotadas no que toca os transportes públicos de massa e aos modos não motorizados?

Objetivos

O objetivo principal da presente dissertação é criar um sistema de apoio a processos de avaliação das estratégias de adaptação adotadas por megacidades costeiras, que tiveram que enfrentar os impactos das inundações em seus sistemas de transporte (com a paralisação de suas funções durante e pós desastre). A partir deste objetivo, pretende-se criar um documento de referência para estudos futuros a fim de auxiliar tomadores de decisões na busca por melhores soluções de adaptação para a resiliência da mobilidade em suas cidades, no contexto das alterações climáticas.

Como objetivos específicos, pretende-se elaborar uma ferramenta que permite a sistematização das soluções adotadas em cada experiência analisada, com base em questões consideradas essenciais no processo de adaptação, segundo a literatura de referência. A sistematização destas informações permitirá compreender os aspectos relevantes de cada experiência e a comparação entre elas. A utilização do método de comparação permitirá traçar paralelos e levantar questões para estudos futuros de avaliação, bem como a compreensão das tendências de adaptação no setor dos transportes.

Metodologia

Para atingir os objetivos definidos para este trabalho e criar um sistema de apoio para futuros processos de avaliação das estratégias de adaptação adotadas por megacidades costeiras para seus sistemas de transporte em face das alterações climáticas, pretende-se fazer uma revisão da literatura científica e institucional que

permitirá conhecer o estado da arte sobre ameaças, vulnerabilidades, impactos e adaptação às alterações climáticas de megacidades costeiras ameaçadas pela elevação do nível do mar, o que permitirá definir os critérios de análise das experiências analisadas. Esta fase é seguida de uma revisão documental sobre experiências de adaptação com foco em sistemas de transporte em megacidades costeiras, que permitirá conhecer as experiências propriamente ditas.

A primeira tarefa é apresentar as possíveis causas e efeitos das inundações urbanas, os riscos e vulnerabilidades associados a estes eventos e identificar os potenciais impactos das alterações climáticas no agravamento desta situação. A seguir, ainda como parte da construção teórica da pesquisa, pretende-se abordar a questão das megacidades costeiras em zonas de baixa elevação, com uma construção do estado sócioeconômico e demográfico destas cidades e suas vulnerabilidades específicas, esclarecendo portanto o motivo pelo qual foram escolhidas como recorte teórico desta pesquisa.

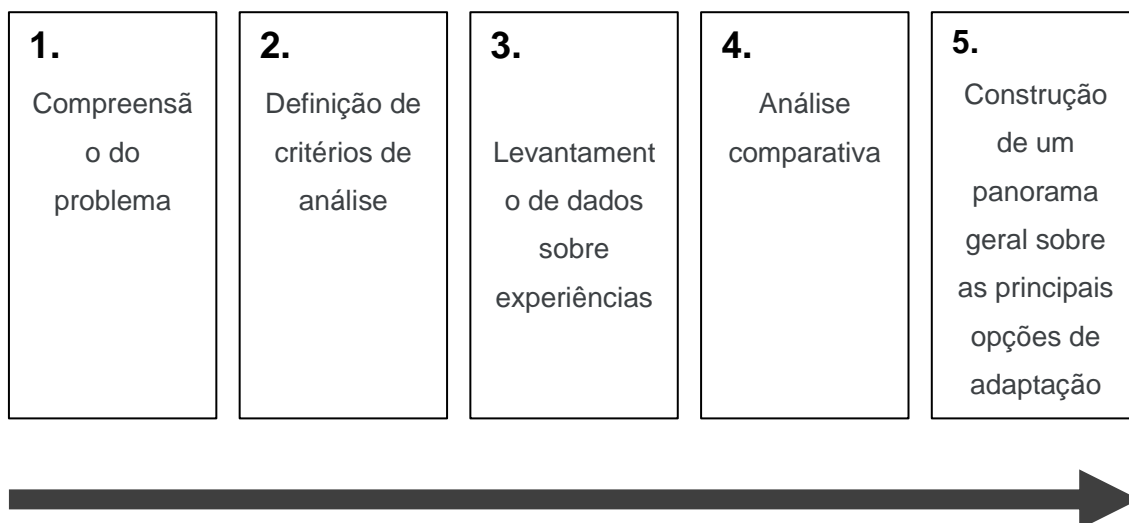
Tendo feito a apreciação geral das vulnerabilidades costeiras à inundação e contextualizando-as aos prováveis impactos das alterações climáticas, passa-se a abordar o assunto específico sobre o qual se pretende analisar e descrever estes impactos: os sistemas de transporte e a mobilidade nas cidades. Aqui serão considerados principalmente os impactos i) por modos de transporte; ii) por localização geográfica onde está situada a infraestrutura; e iii) por tipo de impacto: diretos (que afetam a infraestrutura física, os veículos e o desempenho operacional do sistema) e indiretos (que afetam os padrões de mobilidade na cidade).

Apresentados os possíveis impactos das alterações climáticas nas inundações urbanas e seus efeitos sobre os sistemas de transporte, a próxima tarefa é abordar os conceitos de adaptação e resiliência, como estratégias para lidar com a questão. A estratégia de adaptação às alterações climáticas será baseada em três pilares principais: Proteger, Acomodar e Recuar. Estas três formas de adaptação vão desde mudança nas práticas operacionais e de manutenção, mudanças no projeto e redesenho da infraestrutura, até a realocação de infraestruturas vulneráveis (National Research Council, 2008).

Como forma de apresentar soluções concretas para lidar com os desafios impostos pela problemática abordada nesta dissertação e, como dito, criar um documento de referência, capaz de auxiliar na disseminação e no conhecimento do

problema, o próximo passo consiste na busca por experiências de adaptação em megacidades costeiras do mundo, que tiveram que lidar com os impactos das alterações climáticas relacionados à inundação, sobre seus sistemas de transporte. Para isso foram criados critérios de seleção das cidades, a partir da necessidade de adaptação de seus sistemas de transporte à inundação e com base em sua localização, situação demográfica, presença de modais de transporte, entre outros. As cidades selecionadas para análise das experiências de adaptação foram Nova York, Jakarta e Rio de Janeiro. A partir desta seleção das cidades, a última tarefa desta pesquisa consiste em criar critérios de análise para a elaboração de uma ferramenta que sistematiza as soluções adotadas em cada experiência e a comparação entre elas, que permite o levantamento de questões para estudos futuros e a compreensão das tendências de adaptação no setor.

Esta pesquisa poderia então ser resumida em 5 principais fases:



1 Enquadramento teórico

1.1 Alterações Climáticas e inundação urbana

As inundações são um processo natural, geralmente resultantes de combinações complexas entre extremos meteorológicos e hidrológicos e ocorrem porque os solos não são capazes de absorver ou descarregar de maneira eficiente o excesso de água resultante de chuvas intensas ou do transbordamento de rios e mares. Porém, fatores antrópicos como o crescimento e desenvolvimento desordenado em várzeas e áreas naturalmente alagadas, a excessiva impermeabilização do solo, o rompimento de uma barragem ou a falha de qualquer outra estrutura criada para proteção, expuseram muitas áreas urbanas às inundações e agravaram a situação (Davoudi, Crawford, & Mehmood, 2009; Jha, Bloch, & Lamond, 2012; Strengari, Kacuta, Dalessandro, Bianchi, & Margato, 2015)

O relatório elaborado pelo Governo da Inglaterra, Planning Policy Statement 25: Development and Flood Risk (PPS25, 2009), aponta que historicamente as principais fontes de inundação ocorriam a partir de cheias dos rios e do mar. Porém, o The Summer 2007 Flood Report⁵ produzido pelo Environment Agency, reporta que aproximadamente 2/3 das ocorrências de inundação originaram da ação antrópica, como infraestruturas de drenagem e esgoto sobrecarregados pela precipitação e escoamento superficial (BRUM, 2015).

O processo de urbanização que caracterizou o século XX e início do século XXI foi marcado pelo surgimento de grandes aglomerações urbanas, muitas vezes sem nenhum tipo de planejamento, num modelo de ocupação insustentável, norteado pelo mercado imobiliário, que contribuiu para a expansão das cidades e para a exclusão social, principalmente nos países em desenvolvimento (Pedrosa, Abreu, & Danelon, 2016).

Historicamente, as pessoas geralmente se estabelecem ao longo dos rios porque as planícies de inundação fornecem terras férteis, recursos para o desenvolvimento econômico e água potável, e funcionam como corredores para o transporte (Smith & Ward, 1998 *apud* Santato, Bender, & Schaller, 2013). Em muitas regiões do mundo, as

⁵ The Summer 2007 Flood Report *apud* Department for Communities and Local Government. "The assessment of flood risk". Planning Policy Statement 25: Development and Flood Risk. Practice Guide. London: Crown, 2009, p. 39. Tradução do autor.

pessoas que se deslocam das áreas rurais para as cidades, ou dentro das próprias cidades, geralmente se estabelecem em áreas altamente expostas a inundações. Deste processo resultam diversos tipos de problemas ambientais e diferentes tipos de riscos, inclusive os riscos de inundações urbanas, que demonstram as formas predatórias das relações do homem com a natureza.

À medida que as áreas urbanas crescem, geograficamente e demograficamente, o risco de inundação aumenta em parte porque há mais exposição, mas também porque o próprio processo de urbanização altera as características hidrológicas locais. As cidades crescem para acomodar o aumento populacional, e essa expansão urbana geralmente ocorre em forma de desenvolvimento não planejado, ou planejado com deficientes soluções de suporte, com a mudança de uso do solo, muitas vezes em planícies de inundação, tanto em áreas costeiras quanto no interior, bem como em outras áreas sujeitas à inundação, o que leva à obstrução no fluxo natural da água (Jha, Bloch, & Lamond, 2012).

As definições e categorizações de inundações variam entre os autores e normalmente são baseadas em combinações de fontes, causas e impactos. Com base nessas combinações, segundo Lamond et.al (2012), as inundações podem ser classificadas como inundações fluviais, inundações pluviais (ou terrestres), inundações costeiras, inundações de águas subterrâneas ou por falha de sistemas de águas artificiais. Com base na velocidade de início das inundações, os autores as classificam como inundações repentinas, inundações urbanas, inundações semipermanentes e inundações de subida lenta.

Neste sentido vale ressaltar a diferença entre dois conceitos muitas vezes utilizados de forma errônea para referir-se ao mesmo fenômeno: cheias e inundações. Apesar da definição do conceito de cheias não ser um consenso entre muitos autores, de um modo geral referem-se a estas como sendo “o transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, originando a inundação dos terrenos ribeirinhos” (Ramos, 2006 *apud* Moreira, 2016), afetando o uso do solo e a normalidade da atividade humana. É possível portanto compreender que as cheias são a principal causa das inundações, que, por sua vez, consistem na submersão de áreas que normalmente não estão cobertas por água.

O Glossário Internacional de Hidrologia da UNESCO/WMO⁶ define ainda inundação como “uma submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água ou uma acumulação de água proveniente de drenagens, em zonas que normalmente não se encontram submersas”.

As cheias e inundações são, portanto, fenômenos hidrológicos naturais, que ocorrem com periodicidade nos cursos de água em razão de chuvas fortes e rápidas ou de chuvas de longa duração, que podem ser potencialmente perigosos, dependendo da magnitude atingida (altura da água, caudais), da velocidade com que progridem e da frequência com que ocorrem. Porém, só provocam situações de risco se houver elementos a elas expostos (população, propriedades, infraestruturas, atividades econômicas), ou seja, localizados em áreas inundáveis, que possam ser destruídos ou gravemente danificados (Ramos, 2013).

Entender a causa e a velocidade de início de cada tipo de inundação é fundamental para analisar seus possíveis efeitos nas áreas urbanas, já que todas as categorias de inundações acima citadas, podem ter impactos severos em meio urbano.

A Tabela 1 resume o tipo e as causas das inundações (Jha, Bloch, & Lamond, 2012, p. 56).

Tipos de Inundações	Causas Ocorrência Natural	Induzida por Atividade Humana	(Tempo de) Início	Duração
Inundação Urbana	Fluvial Costeira Enchentes Pluvial Lençol freático	Saturação da capacidade de drenagem e saneamento	Variável dependendo da causa	De algumas horas até dias
Pluvial e Inundação por terra	Tempestades convectivas, chuvas intensas, ruptura de placas de gelo, Inundação por explosão de lago glacial, terremotos seguidos de deslizamentos de terra	Mudança de uso do solo, urbanização. Aumento do escoamento superficial.	Variável.	Variável dependendo das condições anteriores.

⁶ UNESCO/WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - **International Glossary of Hydrology. No 385**

Tipos de Inundações	Causas Ocorrência Natural	Induzida por Atividade Humana	(Tempo de) Início	Duração
Costeira (Tsunami, vaga de tempestade)	Terremotos Erupções vulcânicas submarinas Afundamento do solo, erosão costeira	Desenvolvimento das zonas costeiras Destruição da flora natural costeira (ex. manguezal)	Variável, mas geralmente razoavelmente rápido	Geralmente curtos períodos, porém as vezes demora a regredir.
Lençol freático	Nível do lençol freático elevado combinado com chuvas intensas Repercussão agregada	Desenvolvimento em áreas de baixa altitude; interferindo com os aquíferos naturais	Geralmente lenta	Duração mais longa
Enchentes	Pode ser causada pelo sistema de rios, pluvial ou costeiro; tempestades convectivas; Inundação por explosão de lago glacial	Falhas catastróficas nas estruturas de retenção de água Infraestrutura de drenagem inadequada	Rápida	Geralmente curta, frequentemente apenas algumas horas
Cheias semipermanentes	Aumento do nível do mar, afundamento do solo	Sobrecarregamento de drenagem, falhas nos sistemas, desenvolvimento urbano inadequado, Má gestão do lençol freático	Geralmente lenta	Longa duração ou permanente

Tabela 1 - Tipos e causas de Inundação - Fonte: Jha, Bloch, & Lamond, 2012, p. 56 - Tradução do autor.

Visto que as chuvas são a principal causa natural das inundações, alterações nos padrões de precipitação podem levar a um aumento significativo na ocorrência desses fenômenos, bem como da sua magnitude. Ao longo deste subcapítulo, passaremos a abordar as causas e efeitos das inundações urbanas e sua relação com os padrões atuais de ocupação, além dos impactos das alterações climáticas sobre a incidência e magnitude deste tipo de evento.

1.1.1 A inundação urbana e os padrões de ocupação

A inundação é a mais frequente entre todos os desastres naturais, e nos últimos anos a recorrência destes eventos (Gráfico 1), o número de pessoas afetadas e os prejuízos financeiros e econômicos aumentaram significativamente, em função do aumento do número de eventos de chuvas intensas e da exposição de pessoas e bens, combinado com os sistemas de drenagem sempre ineficientes. Somente em 2010, 178 milhões de pessoas foram afetadas pelas enchentes. As perdas totais em anos

excepcionais, como 1998 e 2010, ultrapassaram US \$ 40 bilhões (Jha, Bloch, & Lamond, 2012).

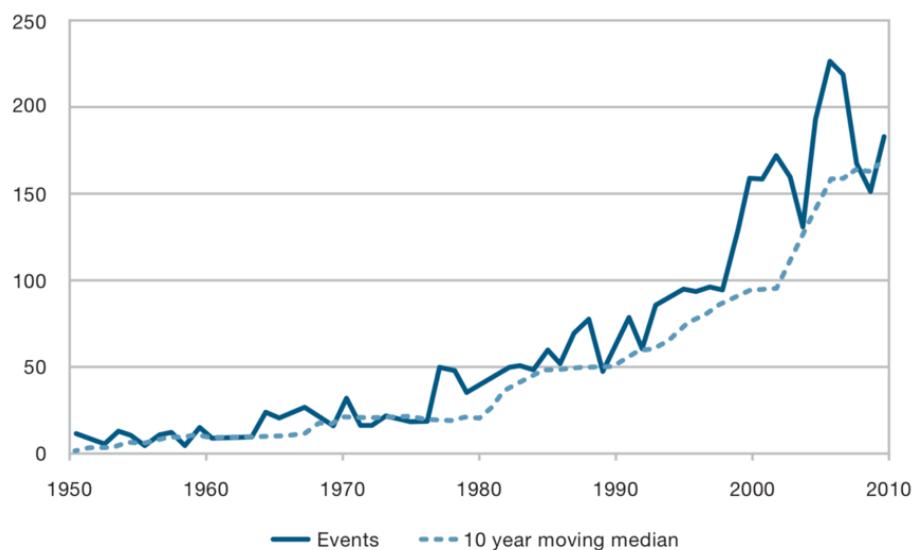


Gráfico 1 - Número de eventos de inundação reportados – Fonte: (Jha, Bloch, & Lamond, 2012)

O problema das inundações urbanas é uma preocupação crescente para todos os países, em função dos danos que podem causar no ambiente urbano (edifícios, obras públicas, habitação, perdas de rendimento de indústrias e comércio, perda de empregos e interrupção dos sistemas de transporte), resultantes de uma combinação complexa de causas e afetam assentamentos de todo o tipo, desde pequenas aldeias à megacidades, com impactos distintos em função da concentração de população, bens e serviços, definindo o grau de exposição (Jha, Bloch, & Lamond, 2012).

A principal causa das inundações urbanas são tempestades severas ou chuvas moderadas e duradouras que saturam o solo (Andjelkovic, 2001), pois a urbanização reduz significativamente as áreas permeáveis, dificultando a absorção da água da chuva e aumentando o escoamento superficial, que em muitos casos sobrecarrega os sistemas de drenagem que não foram projetados para lidar com fluxos aumentados. Muitas vezes, a água entra no sistema de esgoto em um lugar e ressurge em outros. Este tipo de inundação ocorre com bastante frequência na Europa, por exemplo, as inundações que afetaram partes da Inglaterra no verão de 2007, como já citado.

Além disso, existem alguns impactos relacionados à forma desorganizada como a infraestrutura urbana é implementada, como por exemplo a construção da infraestrutura de transporte urbano que contribui para uma constrição das várzeas e

um aumento na área de superfícies impermeáveis. Estruturas lineares, tais como estradas e linhas ferroviárias, que não têm obras de drenagem suficientes ou adequadas, podem obstruir o escoamento, ou desviar os fluxos para outras áreas ou aumentar os níveis de água a montante (Santato, Bender, & Schaller, 2013). Além destas, a obstrução de rios, canais e condutos de lixos e sedimentos também podem contribuir de forma significativa para o aumento dos riscos de inundação em áreas urbanas.

Na figura a seguir, Andjelkovic (2001) apresenta alguns dos problemas gerados pela urbanização no ciclo da água a partir de uma visão geral de seu movimento em meio urbano, apontando principalmente para problemas no controle da poluição, problemas no recursos hídricos e problemas de controle de enchentes .

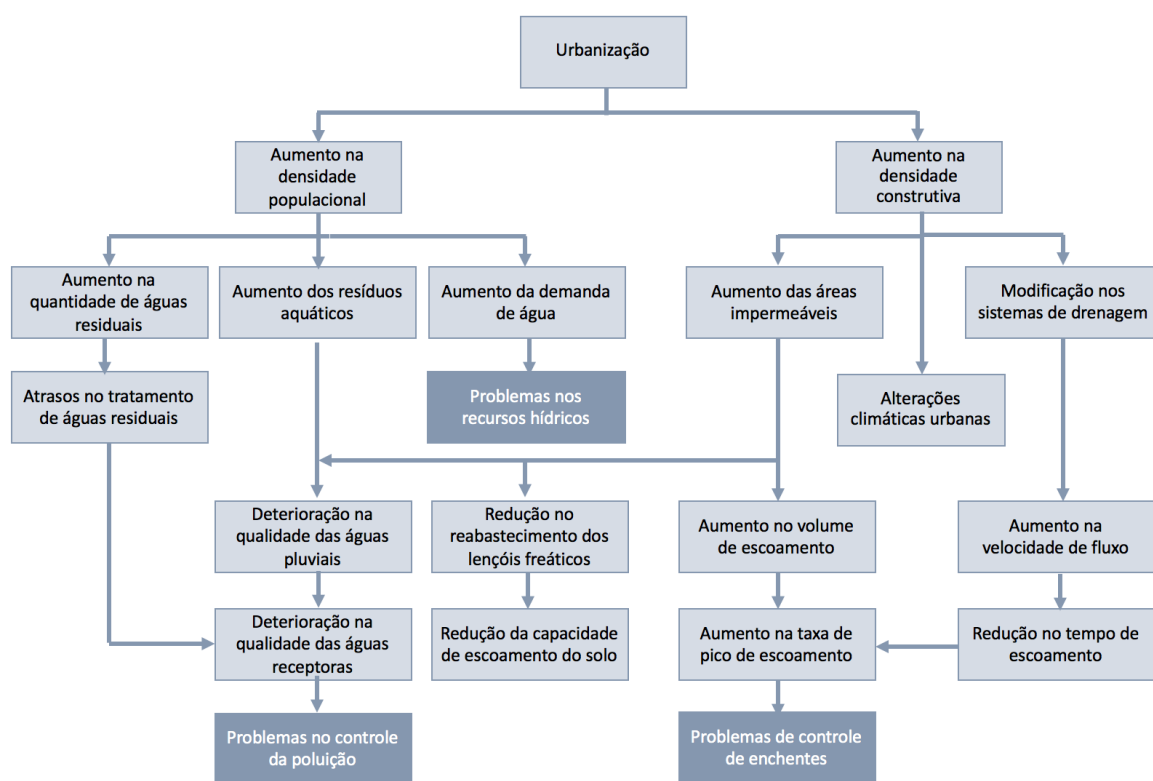


Figura 1 - Impactos Hidrológicos da Urbanização (Andjelkovic 2001 apud Santato, Bender, & Schaller, 2013) - Tradução do autor

Além dos impactos já apresentados, em alguns lugares a constante expansão urbana reduziu a permeabilidade do solo nas áreas de recarga das águas subterrâneas.

Este fator, combinado com a subsidência⁷ significativa da terra devido à sobre-exploração das águas subterrâneas durante o século passado, aumentou o risco de inundações, como é o caso da Cidade do México, de Jakarta na Indonésia, entre outros (Major, et al., 2011); Jha, Bloch, & Lamond, 2012).

A urbanização é uma tendência inevitável e positiva que, no entanto, tem o potencial de aumentar grandemente o risco de inundação, se não vier acompanhada de planejamento e políticas públicas capazes de gerenciar a ocupação. A projeção do crescimento futuro da população urbana traz grandes incertezas sobre a escala e a distribuição espacial da população, assim como o impacto deste processo nos riscos de inundação. Porém, se os padrões de ocupação atuais continuarem a ser repetidos, os riscos de inundação tendem a aumentar em função da sua interferência no ciclo da água, bem como o risco de desastres, já que aumentam também a população e os bens expostos aos riscos. Planejar o uso da terra e regular o desenvolvimento é, portanto um aspecto fundamental para o gerenciamento do risco de inundações urbanas.

1.1.2 Risco e Vulnerabilidade associados à inundação

Como visto anteriormente, as inundações só configuram desastre⁸ quando provocam perdas e isso acontece porque ao longo do tempo os homens ocuparam terrenos alagadiços ou impróprios para ocupação (White, 1974 *apud* Coelho, et al., 2006). Segundo Montz (2000 *apud* Coelho, et al., 2006), este problema representa uma questão bivalente, onde o desenvolvimento em áreas de risco cria uma situação de perigo, colocando mais pessoas em risco, e o próprio processo de urbanização influencia a magnitude e a frequência das cheias, levando à necessidade de ordenamento do território na mitigação dos impactos das inundações.

O risco de inundação pode ser determinado por uma conjunção de fatores climáticos e não climáticos: a magnitude de uma inundação fluvial, por exemplo,

⁷ O termo **subsidência** refere-se ao rebaixamento da superfície da terra em função da extração excessiva de água subterrânea (Jha, Bloch, & Lamond, 2012).

⁸ O Glossário de Terminologia sobre Redução do Risco de Desastres desenvolvido pela UNISDR em 2009, define **desastre** como: “Uma séria perturbação do funcionamento de uma comunidade ou sociedade em qualquer escala devido a eventos perigosos interagindo com condições de exposição, vulnerabilidade e capacidade, levando a um ou mais dos seguintes aspectos: perdas e impactos humanos, materiais, econômicos e ambientais.”- tradução nossa – disponível em <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology#letter-d> – (acesso em 31 de maio de 2018)

dependerá de fatores físicos, como intensidade, volume e tempo de precipitação. As condições antecedentes do rio e sua bacia de drenagem (tais como a presença de neve e gelo, tipo de solo e se este é saturado ou insaturado) também terão um impacto sobre o desenvolvimento do evento, assim como fatores humanos, tais como a existência de diques, represas e reservatórios, ou a perda de permeabilidade causada pela expansão urbana em várzeas (Jha, Bloch, & Lamond, 2012).

Para Howard Keeble e Rosalind Whitham (2011) o conceito de "risco" pode ser definido por uma equação que possibilita avaliar e compreender as componentes do risco de inundação: $\text{Risco de Inundação} = \text{Probabilidade de Inundação} \times \text{Consequência da Inundação}$, onde as consequências das inundações dependem dos danos causados por estas (profundidade da água, a velocidade do fluxo, taxa de início, duração, efeitos de onda de ação, qualidade da água) e da vulnerabilidade dos receptores (modelo de ocupação urbana, estado dos ecossistemas, rios, mar, dentre outros). Segundo o glossário do último relatório especial do IPCC "Global Warming of 1.5°C" (2018), além dos danos causados pelas inundações e da vulnerabilidade dos receptores, a consequência da inundação depende também da exposição ao perigo ao longo do tempo (como a presença de pessoas, ecossistemas, infraestruturas, serviços, bens econômicos, entre outros em áreas que podem ser alvo de eventos adversos). Segundo essa concepção de risco, ambientes urbanos, com grande concentração de riquezas e pessoas, estão em situação de alto risco frente à probabilidade de ocorrência de extremos climáticos e desastres naturais (Lemos, 2010)

A probabilidade de ocorrência de um evento de inundação é geralmente expressa em "1 em X anos" (Davoudi, Crawford, & Mehmood, 2009). É importante aqui fazer a distinção entre a probabilidade de ocorrência de um evento climático e a probabilidade de ocorrência de um evento de inundação. As inundações são principalmente causadas por eventos climáticos que podem ser difíceis de prever. Por esse motivo, as previsões de risco de inundação são comumente disponíveis em termos de probabilidades calculadas usando dados históricos para a área de interesse. A análise de ocorrências passadas destes eventos e a determinação dos seus intervalos de recorrência, permitem prever as probabilidades futuras.

O PPS25 (2009) determina que a probabilidade de uma inundação específica acontecer é expressa como uma chance ou probabilidade ao longo de um período de um ano. Por exemplo, se houver uma chance em 100 de inundar em qualquer ano,

significa que existe 1% de chance de inundação a cada ano. No entanto, se ocorrer uma inundação, isso não significa que outra inundação não ocorrerá por 99 anos. A probabilidade de ocorrência é o inverso do intervalo de recorrência (ou período de retorno)⁹ : $p = 1 / T$. “Uma inundação que tenha um intervalo de recorrência de 100 anos tem uma chance de um por cento de ocorrer (ou ser excedida) em um determinado ano.” (Jha, Bloch, & Lamond, 2012, p. 67) Para inundações com o intervalo de recorrência de 100 anos, tem sido frequentemente utilizado o termo inundação de cem anos”.

Baseado na probabilidade, o PPS25 (2009) separa ainda o risco de inundação em três categorias: (i) zona 1 – baixo risco – menos que 0,1% de probabilidade de inundação (1 em 1000) de rios ou do mar; (ii) zona 2 – médio risco – entre 0,1% (1 em 1000) e 1% (1 em 100) de probabilidade de inundação de rios ou entre 0,1% (1 em 1000) e 0,5% (1 em 200) de probabilidade de inundação do mar; (iii) zona 3a – alto risco – maior que 1% (1 em 100) de probabilidade de inundação de rios e maior que 0,5% (1 em 200) de probabilidade de inundação do mar; (iv) zona 3b – extremo risco - com probabilidade de inundação de 5% (1 em 20) chamada de várzea funcional.

Além da probabilidade, como já apresentado, o outro fator que influencia no risco de inundação são as consequências, que estão diretamente relacionadas com a exposição e a vulnerabilidade dos receptores. Segundo o Glossário de Terminologia sobre Redução de Risco de Desastres, vulnerabilidade pode ser entendida como:

~As condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a susceptibilidade de um indivíduo, uma comunidade, ativos ou sistemas para os impactos dos riscos.~ (UNISDR, 2009)

A vulnerabilidade pode ser determinada a partir das características do sistema urbano e a sua definição pode variar de acordo com a área do conhecimento em que está sendo utilizada, ficando o conceito de vulnerabilidade dependente do contexto e

⁹ “O intervalo de recorrência ou período de retorno é definido como o tempo médio entre eventos de uma determinada magnitude, assumindo que eventos diferentes são aleatórios. O intervalo de recorrência ou período de retorno de inundações de alturas diferentes varia de bacia a bacia, dependendo de vários fatores, como o clima da região, a largura da planície de inundação e o tamanho do canal. Em um clima seco, o intervalo de recorrência de uma inundação de três metros de altura pode ser muito maior do que em uma região que recebe chuvas fortes regularmente. Portanto, o intervalo de recorrência é específico para uma determinada bacia hidrográfica.” (Jha, Bloch, & Lamond, 2012, p. 66) – tradução do autor

do propósito da sua aplicação (FÜSSEL, 2007 *apud* Ferreira, Garuana, & Seixas, 2010). De um modo geral, a vulnerabilidade abrange uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou suscetibilidade a danos (em função das características de seus componentes) e falta de capacidade de lidar e adaptar-se ("capacidade adaptativa" - capacidade do sistema para lidar com o efeito, e/ou reduzir os resultados adversos e até mesmo se beneficiar com eles) (Apollaro & Alvim, 2017; IPCC, 2018).

Lamond et.al (2012) conceituam o risco de inundação em quatro estágios, como na figura abaixo:

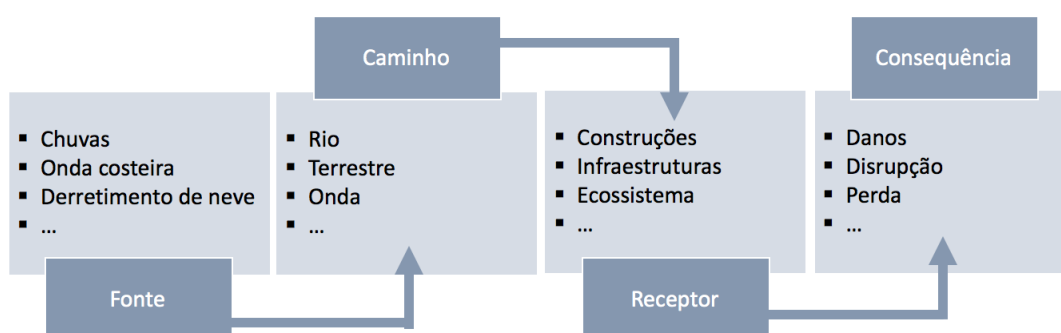


Figura 2 - Modelo de Fonte, Caminho e Receptor - Fonte: Lamond et.al, 2012 - Tradução do autor

Este modelo apresenta o processo de inundação desde a fase inicial com a identificação de uma fonte da água da enchente, o caminho que é tomado por ela até o receptor da inundação. A água origina-se de eventos climáticos como chuvas, ondas de tempestade, degelo, entre outros, e passa a ser transportada com rios, terra, mar até encontrar um receptor, que podem ser as construções, as infraestruturas ou o ecossistema, por exemplo. Neste momento, a presença da água que era apenas um evento se torna uma ameaça, pois dependendo das características do receptor, pode resultar em consequências desastrosas. Podemos concluir a partir deste modelo que quanto maior a probabilidade de ocorrer uma inundação e quanto maiores forem a exposição e as vulnerabilidades dos receptores, maiores serão as consequências e o risco.

O risco, portanto, não é o mesmo para todas as pessoas e sistemas. Em geral a população urbana mais exposta e mais vulnerável é a que possui menos recursos financeiros e os grupos frágeis, que incluem crianças, idosos ou pessoas que possuem algum tipo de deficiência, fatores que as tornam menos capazes de lidar com os eventos extremos climáticos ou fugir rapidamente em casos de desastre. No caso dos pobres

urbanos, em geral encontram-se mais expostos, vivendo muitas vezes em áreas impróprias para o assentamento urbano, em moradias de baixa qualidade e na maioria das vezes têm que fazer grandes deslocamentos pela cidade para trabalhar ou realizar as atividades do dia-a-dia.

Num momento de inundação, com a interrupção dos transportes, por exemplo, esta população que depende essencialmente dos transportes públicos, fica impossibilitada de trabalhar, realizar qualquer tipo de atividade e inclusive fugir das áreas de alto risco onde muitas vezes estão localizadas, pois na grande maioria das vezes os planos de evacuação não incluem provisão suficiente de transporte público para evacuar. As pessoas com melhores condições econômicas por sua vez, de um modo geral, estão melhor localizadas na cidade e/ou contam com o acesso à mobilidade privada, o que facilita a sua resposta aos alertas de tempestades e possíveis desastres.

Portanto, é de extrema importância para o gerenciamento do risco de inundação, que os formuladores de políticas públicas compreendam como o risco de inundação pode afetar o ambiente urbano. Isso é possível a partir da compreensão dos tipos e causas da inundação, suas probabilidades de ocorrência e sua expressão em termos de extensão, duração, profundidade e velocidade, além de entender que tipo de população e ativos ocupam as áreas potencialmente afetadas, quão vulneráveis são estas pessoas e seus assentamentos.

A projeção do risco futuro de inundações traz ainda maiores incertezas. Para as inundações urbanas, o rápido desenvolvimento de áreas propensas a inundações à medida que a urbanização avança, somado às mudanças nos padrões climáticos, em função das alterações climáticas esperadas para os próximos anos, determinam um padrão de não-estacionariedade (ou seja, padrões e tendências passadas são maus indicadores do futuro), tornando cada vez menos eficiente o cálculo da probabilidade futura de inundações a partir apenas de dados históricos (Jha, Bloch, & Lamond, 2012).

1.1.3 Impactos das Alterações Climáticas e a provável intensificação do problema das inundações

Ao longo da história, a humanidade e a natureza sempre se adaptaram às alterações do clima. Porém, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) desde a Revolução Industrial, têm aumentado cada vez mais e são a causa primária das

alterações climáticas¹⁰ provocadas pelo homem (Eichhors, 2009). A *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) usa o termo alteração climática para se referir especificamente a uma mudança do clima que é atribuída direta ou indiretamente à atividade humana que altera a composição da atmosfera global e que é adicional à variabilidade natural climática observada ao longo de períodos comparáveis. Já o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), define o termo Mudança Climática como qualquer mudança no clima ao longo do tempo, seja devido à variabilidade natural ou como resultado da atividade humana (Davoudi, Crawford, & Mehmood, 2009).

De acordo com o Fifth Assessment Report (AR5) publicado pelo IPCC em 2014, a influência das atividades humanas no clima é inequívoca e as taxas de emissões de GEE averiguadas são as mais altas registradas. O aumento destas taxas pode ser atribuído principalmente, ao crescimento da economia e da população, à intensificação dos padrões de consumo e produção vigentes, e aos modelos de uso da terra e da energia, das tecnologias e políticas do clima implementadas (Apollaro & Alvim, 2017).

Vivemos em uma era onde a “incerteza” em relação ao futuro prevalece. As certezas e seguranças que sustentavam a sociedade industrial foram substituídas pelas incertezas e riscos que herdamos dos processos da industrialização. Esse momento caracteriza uma crise socioambiental contundente e exacerbada pelas incertezas das alterações climáticas e nos alerta para a profunda vulnerabilidade de nossos sistemas socioeconômicos e físico-espaciais (Lemos, 2010). Segundo Ulrich Beck (1992) vivemos no que ele define como “sociedade do risco”. Para ele, o risco é um estágio intermédio entre a segurança e a destruição, e a percepção dos riscos ameaçadores determina o pensamento e a ação. No risco, o passado perde o seu poder de determinar o presente. É o futuro, algo que é construído, não existente, que constrói o presente, e os riscos são sempre locais e globais, assumindo uma dimensão transescalar (Mendes, 2015). Essa teoria cabe perfeitamente no contexto atual das alterações climáticas, onde apesar das previsões, os riscos ainda são incertos.

As alterações climáticas previstas são diversas: subida da temperatura média, maior frequência de ondas de frio e calor, secas e inundações, subida do nível médio do

¹⁰ Tanto na literatura nacional quanto internacional, existem muitos termos para o tema: alterações do clima, mudança climática, mudança do clima, mudanças climáticas, entre tantos outros. Neste trabalho, optou-se pela utilização do termo “Alterações Climáticas”.

mar e alterações nos padrões de precipitação e tempestades (IPCC 2007 *apud* Oliveira, 2013). E muito embora ainda existam incertezas acerca da intensidade e frequência com que os eventos climáticos afetarão cada região do planeta, de forma geral as alterações climáticas estão associadas a alguns fatos, como a (i) evidência de uma alteração gradativa do clima do planeta através de pesquisas científicas; (ii) que os efeitos previstos destas alterações afetarão intensamente todo o mundo, principalmente – mas não exclusivamente – as populações em situação de maior pobreza e vulnerabilidade; (iii) as atividades antropogênicas são consideradas a principal causa, ou um fator que amplia as Alterações Climáticas; (iv) ações direcionadas para diminuir ou impedir que as atividades antropogênicas afetem os sistemas climático, humano e ambiental são imprescindíveis (IPCC, 2015 *apud* Apollaro & Alvim, 2017).

As previsões apontam para um aumento global de temperatura entre 1,1 ° C a 6,4 ° C até 2100, dependendo das diferentes hipóteses de cenário (IPCC, 2007). Esse aumento global da temperatura pode resultar no aumento no nível médio do mar devido à expansão térmica dos oceanos, derretimento das geleiras e calotas polares.

Segundo cálculos recentes, o nível do mar pode subir entre 0,5 e 1.5 metros até 2100 acima do nível de 1990, no entanto, incertezas permanecem e níveis mais altos de elevação do nível do mar não podem ser descartados (Eichhors, 2009). Porém, segundo Nicholls et al., (1999), um aumento do nível do mar de 38 centímetros já poderia aumentar em cinco vezes o número de pessoas inundadas por tempestades.

O aquecimento global também causa mudanças severas no sistema hidrológico. Podem ocorrer mudanças na disponibilidade de água anual e/ou sazonal, o que por sua vez leva a mais secas e/ou inundações. Espera-se ainda que os extremos de temperatura, isto é, ondas de calor ou frio, ocorram mais frequentemente e que as tempestades tropicais aumentem em intensidade e frequência, o que representa o risco de tempestades e danos causados por tempestades (IPCC, 2007 *apud* Eichhors, 2009).

Os efeitos destes processos naturais nas atividades humanas variam de acordo com as taxas de aumento da temperatura em cada lugar, das capacidades adaptativas e do contexto socioeconômico regional. Embora o impacto das alterações climáticas possa ser observado em todos os continentes e na maioria dos oceanos, os países do mundo em desenvolvimento são particularmente afetados por mudanças no ambiente físico (Eichhors, 2009), em função da maior sensibilidade em relação ao ambiente construído e da menor capacidade adaptativa de suas populações.

As cidades de deltas e estuários também serão particularmente afetadas em função da sua sensibilidade específica que deve-se à conjugação da proximidade com o mar, à influência fluvial a que estão sujeitas e à dificuldade de escoamento de suas águas interiores. Esses fatores podem, conjuntamente, contribuir para um forte aumento dos diferentes riscos de inundação nas cidades costeiras e colocam em causa um elevado número de população e de áreas urbanas em todo o mundo (Oliveira, 2013).

As alterações climáticas têm, portanto, uma influência muito grande no risco futuro de inundação, fenômeno escolhido como foco de estudo desta dissertação em função da magnitude destes desastres, como explicitado anteriormente. Existe um amplo consenso de que o risco de inundação já está mudando a uma taxa significativa, e que essa taxa de mudança pode se intensificar nas próximas décadas (Pall et al. 2011 *apud* Jha, Bloch, & Lamond, 2012).

As alterações nos padrões de precipitação, associadas a um clima mais quente são determinantes do aumento de inundações, com impactos diretos e indiretos associados. Por este motivo, é fundamental entender a interação entre o processo de urbanização, a mudança ambiental local atual e a aceleração desta pelas alterações climáticas. As qualidades espaciais, temporais e relacionadas à sustentabilidade da urbanização são importantes para compreender essas interações (IPCC, 2014). Tomando como premissa (apesar do elevado grau de incerteza) o fato de que as alterações climáticas tornarão os extremos climáticos mais frequentes, ainda mais pessoas, infraestruturas, serviços e etc. poderão ser impactados, direta ou indiretamente.

“Por exemplo, as inundações de 2007 na cidade de Villahermosa, que cobriam dois terços do Estado de Tabasco no México, tiveram graves consequências para a base econômica da cidade, com prejuízos e perdas equivalentes a 30% do PIB anual do estado (CEPAL, 2008) . A inundação que atingiu o rio Chao Phraya em 2011 causou uma grande perda de vidas e prejuízos para muitas empresas e várias propriedades industriais em Bangcoc (danos e perdas locais estimados foram de 3,5 trilhões de ienes), mas também interrompeu cadeias industriais de fornecimento em escala global (Komori et al., 2012).”

(IPCC, 2014) – tradução do autor

Os padrões¹¹ observados e projetados de Alterações Climáticas podem ter um efeito amplificador no risco de inundação existente, por exemplo, por (IPCC, 2014):

- Mudanças nos padrões locais de chuvas que poderiam levar a níveis mais frequentes e mais altos de inundações dos rios e inundações mais intensas;
- Aumentando a frequência de tempestades, resultando em eventos extremos mais frequentes.
- Aumentar a taxa de aumento do nível do mar, que é um dos fatores que causam maiores danos pelas inundações nas zonas costeiras;
- Mudança da frequência e duração dos eventos de seca que levam à extração de águas subterrâneas e subsidência da terra, o que agrava o impacto do aumento do nível do mar.

Como as inundações são principalmente causadas por eventos climáticos que podem ser difíceis de prever, os impactos das alterações climáticas podem influenciar significativamente no risco de inundação, já que tendem a aumentar a frequência com que ocorrem os eventos climáticos, alterando assim as probabilidades de inundação, na medida em que alteram os períodos de retorno. Este fato, somado ao rápido desenvolvimento de áreas propensas a inundações, contribuem para a não-estacionariedade¹² do sistema, o que aumenta o grau de incerteza.

Se analisarmos novamente a equação de risco, $\text{Risco de Inundação} = \text{Probabilidade de Inundação} \times \text{Consequência da Inundação}$, podemos concluir que a influência das alterações climáticas nos períodos de recorrência (ou de retorno) de um determinado evento de inundação, tornando-o cada vez mais frequente, aumenta significativamente o risco.

É necessário, portanto, que os cenários futuros relacionados às alterações climáticas sejam tratados adequadamente nas decisões de gerenciamento de riscos de inundações, bem como as interações entre os seus impactos e a urbanização, as condições das infraestruturas, o crescimento populacional, entre outros. A falha em considerar adequadamente as alterações climáticas na tomada de decisões hoje pode levar a custos desnecessários futuros, investimentos desperdiçados e riscos à vida.

¹¹ Baseiam-se em cenários futuros de emissão de gases de efeito estufa, apresentados como Representative Concentration Pathways (RCPs).

¹² Ver página 26 deste documento.

1.2 As megacidades costeiras

Ao longo da história, as cidades costeiras de deltas e estuários lidaram sempre com a ameaça de inundação, fosse marítima, fluvial ou pluvial, numa busca constante pelo equilíbrio entre as vantagens e os riscos inerentes a estes territórios.

A expansão do comércio internacional durante o período colonial contribuiu para a localização costeira de muitas cidades contemporâneas, e a recente expansão do comércio internacional também contribuiu para os movimentos populacionais em direção ao litoral (McGranahan et al., 2007). A localização estratégica nas rotas marítimas comerciais e a grande disponibilidade de recursos naturais, fizeram destas cidades importantes pólos de desenvolvimento social e econômico, o que contribuiu para a sua expansão territorial e o aumento populacional durante todo o séc. XX, dando origem a muitas das maiores metrópoles do mundo.

Os assentamentos humanos têm sido atraídos para as áreas costeiras, que oferecem muitos recursos e oportunidades comerciais, mas também expõem os moradores a vários riscos. Atualmente, a manutenção e o desenvolvimento destas grandes cidades costeiras encontram-se ameaçados pelos impactos das alterações climáticas, visto que estes podem afetar direta ou indiretamente muitas das estruturas e sistemas urbanos importantes, causando perdas econômicas e humanas significativas (McGranahan et al., 2007).

As cidades costeiras são ambientalmente vulneráveis devido aos riscos relacionados ao mar, como tempestades, inundações costeiras e erosão. As alterações climáticas, que elevarão o nível do mar e aumentarão as tempestades, amplificam os riscos para os assentamentos costeiros, que parecem ter experimentado um crescimento maior que outras zonas nas últimas décadas (Klein, Nicholls, & Thomalla, 2003).

Para abordar as possíveis consequências das alterações climáticas sobre a urbanização, uma estrutura espacial é um componente necessário. Neste trabalho, utiliza-se como estrutura espacial as zonas costeiras de baixa elevação. Em McGranahan et.al (2007), as zonas costeiras de baixa elevação (em inglês Low Elevation Coastal Zone - LECZ) são definidas como “terras costeiras contíguas com menos de 10 metros de altitude”. Embora, naturalmente, haja variação regional, grande parte da literatura sobre risco urbano se concentra em cidades dentro de áreas costeiras baixas que foram

reconhecidas como estando em maior risco de inundações devido ao aumento do nível do mar, tempestades e eventos extremos (McGranahan et al., 2007; Nicholls et al., 2008; Balk et al., 2009a; Hunt e Watkiss, 2009; ONU Habitat, 2011a).

O aumento do nível do mar provavelmente não atingirá 10 metros acima das atuais elevações da meia-maré, pelo menos no futuro previsível, deixando uma grande margem de segurança em relação à inundação direta. No entanto, o principal motivo para a definição dessa elevação, é que estimativas baseadas em elevações abaixo de 10 metros não poderiam ser consideradas globalmente confiáveis, particularmente em alguns tipos de áreas costeiras. Para entender melhor a vulnerabilidade destes assentamentos costeiros e apoiar meios eficientes e equitativos de lidar com o problema, é necessário entender por que os assentamentos urbanos nas áreas costeiras estão crescendo mais rápido do que no interior (McGranahan et al., 2007).

1.2.1 Contexto demográfico e socioeconómico

Atualmente, cerca de metade da população mundial vive em áreas urbanas e estima-se que este número atinja 60% até 2030. O processo de urbanização global avançou rapidamente nas últimas seis décadas. Em 1950, mais de dois terços (70%) das pessoas em todo o mundo viviam em assentamentos rurais e menos de um terço (30%) em assentamentos urbanos. Em 2014, 54% da população mundial era urbana. A urbanização global deverá continuar a crescer, de modo que até 2050, o mundo será um terço rural (34%) e dois terços urbanos (66%), aproximadamente o inverso da distribuição da população rural-urbana global de meados século XX, como mostra o gráfico abaixo (United Nations, 2015).

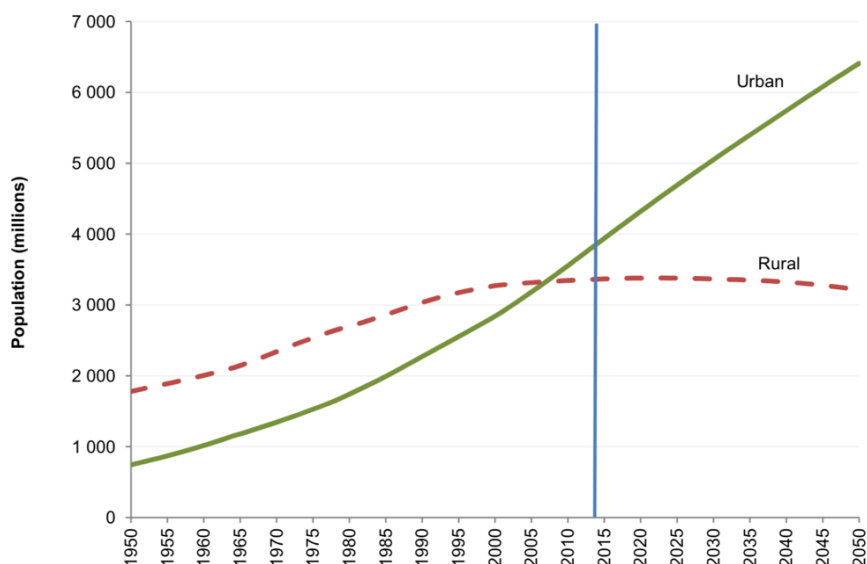


Gráfico 2 - População mundial rural e urbana, entre 1950-2050 (United Nations, 2015)

O crescimento exacerbado da população urbana mundial aumentou significativamente o número de megacidades¹³. Em 1990, havia 10 cidades com mais de 10 milhões de habitantes, e abrigavam 153 milhões de pessoas, representando menos de 7% da população urbana global. Em 2014, o número de megacidades quase triplicou para 28, sua população cresceu para 453 milhões, e essas aglomerações respondiam por 12% dos habitantes urbanos do mundo (United Nations, 2015).

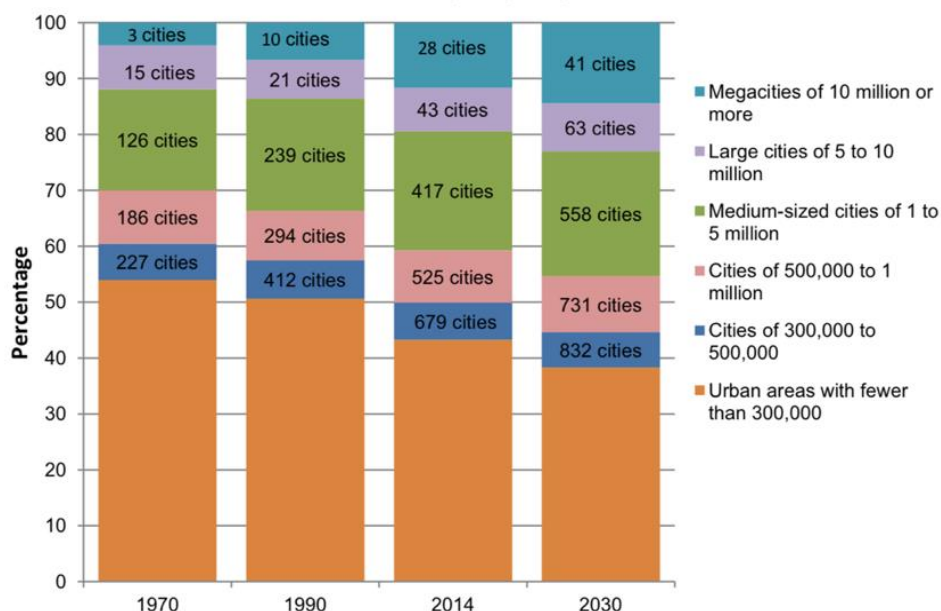


Gráfico 3 - Distribuição da população urbana mundial por classe de tamanho do assentamento urbano e número de cidades, 1970, 1990, 2014 e 2030 (United Nations, 2015)

¹³ As Nações Unidas definem **megacidades** como cidades com população superior a 10 milhões de habitantes (United Nations, 2015)

O crescimento populacional é uma das várias forças que interagem e ajudam a definir a morfologia única de uma cidade e pode ser tanto uma determinante quanto um resultado da evolução de tal “forma urbana” ao longo do tempo. Outros fatores como a localização da cidade e topografia circundante (como litoral, serra ou rio), economias de escala trazidas pela aglomeração, composição populacional e preferências culturais, fatores de “atração” para migrantes, planejamento urbano (infraestrutura, transporte, etc.), podem também contribuir para a forma urbana e ser a causa ou consequência do crescimento populacional.

O fato é que a população urbana e as infraestruturas das megacidades estão cada vez mais expostas a riscos em relação a alguns dos possíveis impactos negativos das alterações climáticas, entre outros fatores, em função da sua localização, pois a maioria destas cidades no mundo estão localizadas em zonas costeiras e estes números tendem a ser cada vez maiores.

Já há alguns anos, a primeira avaliação sistemática da distribuição da população humana, apontou que as pessoas tendem a viver em baixa altitude e perto de costas e rios (Small e Cohen, 2004). A Zona Costeira de Baixa Elevação (em inglês LECZ) constitui 2% da área terrestre do mundo, mas contém 10% da população mundial (600 milhões) e 13% da população urbana mundial (360 milhões), com base nas estimativas do ano 2000 (McGranahan et al., 2007). Cerca de 65% das cidades do mundo com populações superiores a 5 milhões estão localizadas na LECZ (McGranahan et al., 2007). Em 2002, cerca de US \$ 1,9 trilhão em ativos abaixo do nível extremo do mar de 1 em 100 anos estavam concentrados nas seguintes 10 cidades portuárias: Miami (EUA), Nova York-Newark (EUA), Nova Orleans (EUA), Osaka- Kobe (Japão), Tóquio (Japão), Amsterdã (Holanda), Roterdã (Holanda), Nagoya (Japão), Virginia Beach (EUA) e Guangzhou (China) (Hanson et al., 2011).

Para muitas localidades, a população e a exposição de ativos estão crescendo mais rápido do que as tendências médias nacionais devido à migração costeira, industrialização costeira e urbanização (por exemplo, McGranahan et al., 2007; Seto, 2011; Smith, 2011 *apud* IPCC, 2014). A migração para as zonas costeiras ocorreu em grande parte em áreas propensas a enchentes e ciclones e estes processos associados à mudanças no uso do solo são impulsionados por uma combinação de muitos fatores sociais, econômicos e institucionais, incluindo impostos, subsídios, esquemas de seguro,

atratividade estética e recreativa da costa e maior mobilidade (Bagstad et al., 2007; Palmer et al. al., 2011 *apud* IPCC,2014).

O desenvolvimento socioeconômico das zonas costeiras influencia o número de pessoas e o valor dos ativos expostos a riscos costeiros. Desde o Fourth Assessment Report (AR4) publicado pelo IPCC, vários estudos estimaram a influência do aumento do nível do mar e de outros impactos das alterações climáticas, e os riscos associados à população e aos bens costeiros. Embora essas estimativas estejam sujeitas a incertezas associadas à elevação global e a conjuntos de dados populacionais, todos os estudos indicam uma exposição alta e crescente de áreas costeiras de baixa elevação (IPCC, 2014).

A população exposta à inundação costeira de 1 em 100 anos, por exemplo, deverá aumentar de cerca de 270 milhões em 2010 para 350 milhões em 2050, devido apenas ao desenvolvimento socioeconômico (projeções de fertilidade média da ONU) (Jongman et al., 2012). O crescimento populacional, o crescimento econômico e a urbanização serão os fatores mais importantes para o aumento da exposição em áreas densamente povoadas. Para 136 cidades portuárias com mais de 1 milhão de habitantes, o número de pessoas expostas a um nível extremo do mar de 1 em 100 anos deverá aumentar de 39 milhões em 2005 para 59 milhões em 2070 até 0,5 m de elevação do nível do mar e para 148 milhões se o desenvolvimento socioeconômico (projeções populacionais médias da ONU) é considerado. Como resultado do desenvolvimento socioeconômico, espera-se que a Ásia continue a ter a maior população exposta e a África subsaariana o maior aumento na exposição (IPCC, 2014).

As vantagens econômicas tipicamente atribuídas à aglomeração urbana baseiam-se principalmente nos benefícios que vêm do agrupamento de pessoas e empresas, e apenas secundariamente nas características naturais que tornam alguns locais (por exemplo, costeiros) mais atraentes do que outros. Os assentamentos urbanos maiores e as regiões mais urbanas em geral tendem a permanecer maiores e mais urbanas por períodos muito longos. A maioria das infraestruturas urbanas é imóvel e duradoura, tornando as mudanças rápidas na localização urbana muito custosas. Além disso, os assentamentos urbanos tendem a ser nós de crescimento, atraindo mais empresas e pessoas, portanto, os assentamentos urbanos costeiros provavelmente atrairão mais assentamentos urbanos costeiros no futuro, o que aumenta ainda mais a vulnerabilidade costeira à inundação (McGranahan et al ., 2007).

O crescimento da população urbana nos últimos anos, principalmente em zonas costeiras, aumentou o número de megacidades presentes nessas áreas. As cidades costeiras tiveram sempre que lidar com os riscos inerentes a estes territórios, particularmente vulneráveis a eventos relacionados ao mar. No cenário atual, estes riscos tendem a ser exacerbados em função das alterações climáticas, aumentando o grau de vulnerabilidade e em casos mais extremos a possibilidade de manutenção destes assentamentos. Quanto maior o crescimento populacional e o desenvolvimento socioeconômico destas cidades, maiores serão os riscos em função da exposição de pessoas e bens econômicos, portanto, maiores serão as perdas.

1.2.2 Vulnerabilidade costeira à inundação

Como dito anteriormente, centros urbanos localizados predominantemente em áreas costeiras de baixa elevação estão em risco de inundação, particularmente quando as marés altas se combinam com tempestades e / ou altos fluxos de rios.

As zonas costeiras são particularmente vulneráveis à subida do nível do mar, ondas de tempestades e ondas de calor, os quais provavelmente serão intensificados em função das alterações climáticas. Além disso, a maioria das zonas costeiras está sofrendo um afundamento natural que exacerba os efeitos da elevação do nível do mar. Isso é agravado com algumas ações humanas, como a extração e o desvio de água, bem como o declínio da entrada de sedimentos como consequência do aprisionamento em barragens. Este fato, somado ao aumento da precipitação, à elevação do nível do mar e ao derretimento rápido das calotas polares, aumenta substancialmente o risco de inundação destas zonas.

Vale ressaltar que as inundações costeiras não estão relacionadas diretamente com a precipitação, mas as ocorrências meteorológicas são uma das causas para a sobre-elevação do nível da superfície do mar e para a intensidade da ondulação. Existem ainda outras causas para as inundações costeiras, como por exemplo, as vagas sísmicas, ondas marítimas de origem sísmica (tsunamis), mas que neste trabalho não serão abordados especificamente por não se tratarem de eventos climáticos (Rocha, 1998).

Portanto, a principal diferença entre ‘inundações terrestres’ e inundações costeiras, seriam os impactos causados pela presença de ondas decorrentes de

tempestades, as chamadas 'storm surge'. De acordo com o Governo de Nova Iorque¹⁴, enquanto a inundação terrestre pode ocorrer em qualquer lugar de fortes chuvas e má drenagem, a inundação costeira acontece quando um sistema intenso de baixa pressão no mar conduz a água do oceano para a superfície terrestre (Brum, 2015).

As inundações costeiras podem causar danos à propriedade, deslocamento de moradores, interrupção do transporte e perda de zonas úmidas. Isto é especialmente verdade na zona costeira de baixa elevação (UN-Habitat, 2011), em função de danos significativos na costa, incluindo a erosão da praia (isto é, a remoção física de sedimentos) que degrada também os recursos de praia que são usados para o turismo. Esses impactos são normalmente confinados a áreas bastante estreitas adjacentes à costa, mas a erosão pode desencadear eventos de enchente catastróficos se barreiras naturais, como as dunas, forem violadas.

Estas mudanças na configuração costeira podem alterar o risco de inundações e danos causados por tempestades. É importante, portanto, observar que os riscos relacionados ao clima podem ser também modificados por atividades humanas dentro e ao redor das áreas urbanas, capazes de alterar a configuração da costa e agravar o problema. Richard J. T. Klein, (2003), citando outros autores, descreve algumas destas atividades:

- Alterar a oferta de sedimentos devido à mudança do uso da terra, modificação hidrológica ou proteção costeira e a consequente influência na erosão e na deposição;
- Reivindicação de terras de áreas intertidais (ou entre marés) e aprofundamento de canais para navegação, que frequentemente aumentam os níveis extremos de água e, portanto, o risco de inundação; e
- Aumento da subsidência devido à retirada de água subterrânea, que reduziu o nível da terra em muitas grandes cidades costeiras. O rápido crescimento das cidades geralmente desencadeia uma acelerada exploração da água subterrânea. À medida que o lençol freático sob a cidade diminui, os sedimentos anteriormente saturados podem se consolidar de forma irreversível, a densidade aparente aumenta e a superfície do solo fica rapidamente submersa (Nicholls, 1995). Em áreas costeiras baixas, isso leva a um aumento relativo do nível do mar à medida que a terra afunda. Como resultado, os riscos de erosão, inundação e salinização já descritos serão exacerbados. Além disso, a

¹⁴ OFFICE OF EMERGENCY MANAGEMENT (OEM). NEW YORK CITY. NYC Hazard: Coastal Flooding. Disponível em: <https://www1.nyc.gov/site/em/ready/flooding.page> . Acesso em ago. 2018.

subsidência de diferenciais rápidos pode causar danos e destruição de infraestrutura, como dutos e construções. No extremo, a submersão completa de áreas costeiras baixas pode ser o resultado de subsidência (Richard J. T. Klein, 2003).

Para identificar e compreender o risco de inundação e a vulnerabilidade das comunidades costeiras, a Federal Emergency Management Agency (FEMA)¹⁵ realiza estudos de risco no âmbito do programa Mapeamento de riscos, Avaliação e Planejamento (Risk MAP), que mapeia as zonas de risco de inundação costeira mantendo informações de probabilidade de inundação, mas considerando um fator denominado *elevações de inundação de base* (BFE), que é a previsão de elevação da água da inundação durante a inundação de 1% de chance anual.

Para a criação dos mapas de inundação são inicialmente identificados os riscos de inundação costeira através da análise o nível do mar, as marés, a configuração de ondas e a tempestade. “Onda de tempestade é a água que é empurrada para a costa por ventos fortes durante uma tempestade. A configuração das ondas é o aumento do nível da água causado pelo movimento de água em terra devido à quebra das ondas.” (FEMA, 2016).

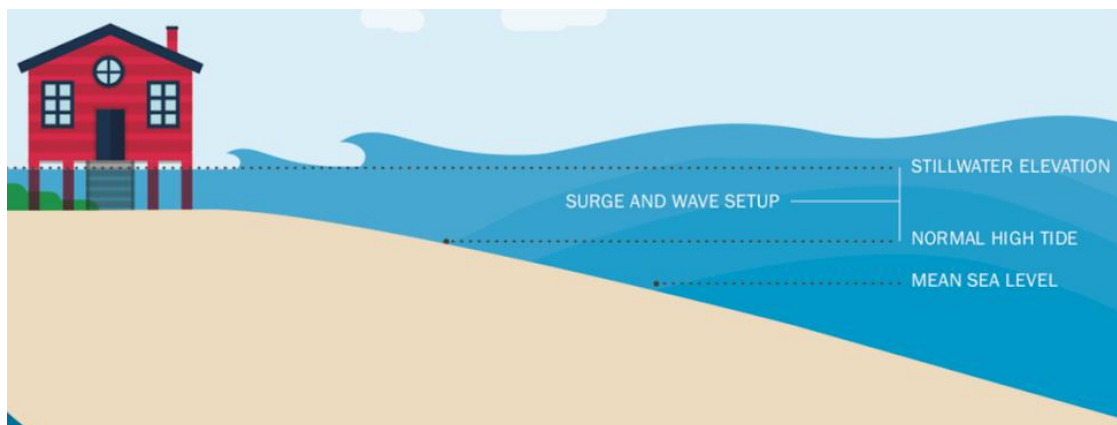


Figura 3 - Níveis de água e 'storm surge'- fonte: [Coastal Mapping Process Infographic](#) – FEMA (2016)

Os mapas incluem designações de zona de inundação que indicam áreas com alto risco de inundação, por exemplo, Zona VE e Zona AE (Figura 9). A zona VE indica

¹⁵ “A Agência Federal de Gerenciamento de Emergência, coordena o papel do governo federal na preparação, prevenção, mitigação dos efeitos da, resposta e recuperação de todos os desastres domésticos, seja natural ou, incluindo atos de terror feito pelo homem.” – fonte: <https://www.fema.gov/about-agency> - Tradução nossa

uma área costeira de alto risco onde a ação das ondas e / ou a alta velocidade da água podem causar danos estruturais durante tempestades severas. A Zona VE também é atribuída a áreas identificadas como a Duna Frontal Primária¹⁶. A zona AE é mapeada para áreas inundadas com ação de onda menos perigosa. Cada zona tem uma elevação de inundação de base (BFE).

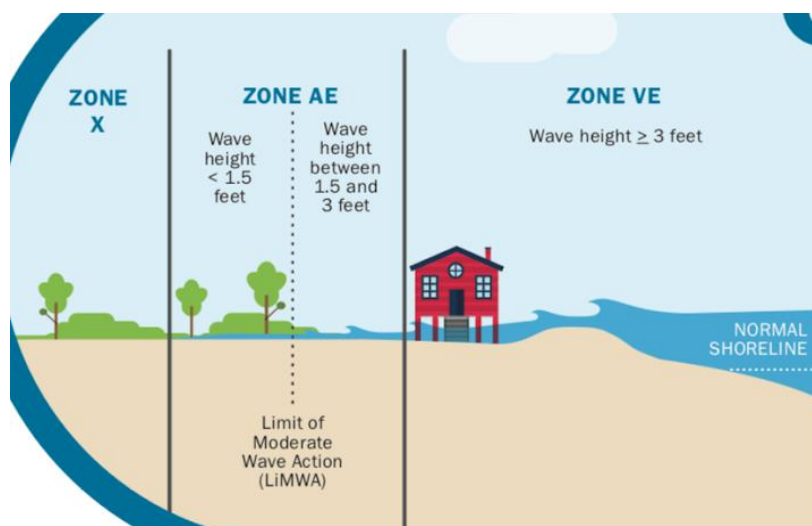


Figura 4 - Zonas de risco de inundação costeira - fonte: [Coastal Mapping Process Infographic](#) – FEMA (2016)

Apesar das causas naturais das inundações costeiras, e a intensificação destes eventos em função das alterações climáticas, a vulnerabilidade costeira está, na verdade, associada ao contexto demográfico, social e econômico, que podem agravar as condições existentes de determinados lugares. Por exemplo, muitas áreas costeiras provavelmente experimentarão pressões crescentes de desenvolvimento como resultado do crescimento populacional, maior afluência e demandas turísticas, que aumentarão ainda mais a exposição de populações e ativos econômicos. Muitas dessas áreas já são vulneráveis a erosão e danos causados por tempestades.

A formação de megacidades em zonas costeiras segue uma tendência de urbanização pautada em um modelo insustentável de ocupação, que tem relação direta com o grau de vulnerabilidade do sistema. O desenvolvimento urbano frequentemente aumenta as pressões ambientais que levam às inundações e aos mesmo tempo aumenta

¹⁶ “A Duna Frontal Primária (PFD), é definida como uma cadeia de areia contínua ou quase contínua, com encostas relativamente íngremes em direção ao mar e em direção a terra imediatamente ao lado da praia e adjacente à praia” – fonte: [Coastal Mapping Process Infographic](#) – FEMA (2016)

o grau de exposição da população, em especial as de baixa renda, que possuem menos condições para lidar com as adversidades.

À medida que o nível do mar sobe com as alterações climáticas, as tempestades costeiras com marés mais altas provavelmente criarão as condições para enchentes e erosões costeiras mais severas, colocando mais pessoas em perigo e aumentando a dificuldade de evacuar em uma emergência (National Research Council, 2008).

A elevação do nível do mar afetará as regiões costeiras, mas a gravidade do impacto dependerá da elevação, da quantidade de subsidência da terra e da extensão da proteção (por exemplo, diques) fornecida e da redundância de infraestrutura vulnerável nas áreas afetadas (National Research Council, 2008). Dependendo do nível de subida do nível do mar, certas áreas urbanas de baixa elevação correm o risco de ficarem inteiramente submersas. Os altos níveis do mar também podem conter a drenagem de fluxos extremos em sistemas de drenagem urbana e rios e levar à intrusão de água salgada. Terras húmidas costeiras serão espremidas, reduzindo os amortecedores naturais contra as cheias das marés e as ondas de tempestades.

As cidades costeiras, principalmente em zona de baixa elevação (LCEZ) estão expostas aos riscos de inundação que podem causar danos à propriedade, deslocamento de moradores, interrupção do transporte e perda de zonas úmidas. Portanto, o estudo das megacidades em zonas costeiras de baixa elevação e a sua vulnerabilidade em relação à inundação (um dos eventos climáticos com mais efeitos catastróficos) torna-se fundamental no contexto atual das alterações climáticas.

1.3 Mobilidade Urbana

Atualmente já se sabe que os transportes motorizados são uma das maiores fontes de emissão de CO₂ na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global. Consequentemente, a adaptação desses sistemas e a mitigação¹⁷ de suas emissões nocivas são prioritárias para evitar cenários climáticos futuros ainda piores.

Muito da participação dos sistemas de transporte na emissão de GEE e consequentemente no agravamento dos impactos das alterações climáticas, têm

¹⁷ A mitigação é a diminuição dos potenciais impactos adversos dos perigos físicos (incluindo aqueles que são induzidos pelo homem) por meio de ações que reduzem o risco, a exposição e a vulnerabilidade (IPCC, 2014)

relação com a forma como as cidades foram se desenvolvendo ao longo do tempo. O modelo de ocupação pós período industrial, baseado principalmente no automóvel, criou cidades cada vez mais espalhadas. O transporte individual trouxe o conforto e a possibilidade de morar em locais mais afastados do centro, o que incentivou a expansão das áreas suburbanas situadas na periferia dos centros urbanos, sendo estas destinadas essencialmente à função residencial (Jacobs, 2000 apud Cardoso, 2007; Silva, 2011; Rodrigue, Comtois, & Slack, 2016)

Porém ao longo do tempo, este modelo tornou-se ineficiente e prejudicial à vida nas cidades, gerando espraiamento com consumo de mais e maiores extensões de área natural, além de aumento das distâncias percorridas, com mais tempo de emissão de gases de efeito estufa pelos veículos, enormes engarrafamentos, espaços públicos desvalorizados e muitas vezes destinados principalmente ao estacionamento de automóveis e um agravamento significativo da poluição do ar.

O fato, é que as alterações climáticas já são uma realidade e mais do que medidas de mitigação, são necessárias também medidas de adaptação para tornar as cidades resilientes e aptas ao enfrentamento dos desafios atuais e futuros relacionados ao clima.

Sendo o transporte um dos mais importantes sistemas da vida urbana, e as inundações um dos mais catastróficos impactos das alterações climáticas, o que acontece nas cidades, se momentos de inundação cada vez mais frequentes, impedirem que as pessoas se locomovam? Quais serão os impactos das inundações principalmente nos transportes públicos, levando em consideração que estes são os modais que deveriam nortear a mobilidade nas cidades sustentáveis que queremos para o futuro?

1.3.1 O modelo atual e a necessidade de mudança de paradigma

Historicamente, questões de planejamento urbano e transporte estão intimamente ligadas. O crescimento das cidades influencia e é influenciado pelos meios de transporte disponíveis à sua população (Magagnin & Silva, 2008). Com cada vez mais pessoas vivendo atualmente em cidades, a velocidade de circulação fica condicionada, sendo reduzida consideravelmente, associada ao aumento das distâncias a serem percorridas (Wyman, 2007 apud Silva, 2011), o que dificulta a mobilidade das pessoas na cidade e conseqüentemente a acessibilidade aos serviços que ela oferece, já que a

mobilidade é “uma função pública destinada a garantir a acessibilidade de todos” (Figueira, s.d *apud* Silva, 2011).

A cidade entra no séc. XX com uma revolução na mobilidade: a era do automóvel. O aumento tecnológico, a criação das linhas de montagem (à exemplo do Ford T, nos EUA), a evolução do pavimento e traçado das vias que permitiram o aumento da velocidade e consequentemente do tráfego, a criação de programas para construção de estradas por parte dos governos (1920), a criação nos EUA pelo Federal Highway Act (1921) de um método de taxaço da gasolina para a construção de vias, a utilização de semáforos, problemas de congestionamento nas cidades americanas (1930), aumento das normas de segurança nas vias, entre outros, são as marcas dessa era (Silva, 2011).

Com a industrialização massiva do modelo “Ford T”¹⁸, o transporte individual se democratiza ficando acessível à classe média, o que resultou na transformação da morfologia urbana, no aumento da velocidade na mobilidade e os crescentes índices de poluição atmosférica e sonora. Já na segunda metade do séc. XX, os problemas com o tráfego eram uma grande questão. Com o crescimento das cidades, houve a necessidade de se gerar mais e melhor transporte, que estava confinado às infraestruturas já criadas (não facilmente mutáveis) dimensionadas para uma dada quantidade de tráfego, o que acabou por gerar problemas de congestionamento.

A necessidade de mobilidade na cidade, associada a facilitação do acesso ao transporte individual e a má qualidade dos transportes públicos, aumentou significativamente os índices de motorização da população, num movimento que ao invés de promover a acessibilidade à cidade, hoje em dia, torna-a inacessível.

1.3.2 Vulnerabilidade dos sistemas de transporte às Alterações Climáticas

O transporte permite o movimento de bens e população, sendo portanto um fator cada vez mais importante para a economia globalizada (Eddington, 2006), além de ser um ativo social, particularmente por permitir a manutenção de redes sociais especialmente estendidas (Cresswell, 2006). No entanto, as alterações climáticas

¹⁸ Modelo de automóvel produzido pela fábrica norte-americana Ford, de 1908 a 1927. A partir de 1913, Henry Ford implanta a linha de montagem e a produção em série, que revolucionam a indústria automobilística. Em vez de um operário ficar responsável pela produção de todas as etapas, várias pessoas ficavam responsáveis pela produção de etapas distintas, o que possibilitou o aumento da produtividade e redução do preço. Fonte: Wikipédia – acesso em 04 de outubro de 2018.

podem ter impactos significativos sobre a eficiência, segurança e custo do transporte, em uma infinidade de formas diretas e indiretas (Jaroszweski, Hooper, & Chapman, 2014), criando vários desafios para a mobilidade urbana.

O funcionamento diário da maioria dos sistemas de transporte já é sensível a flutuações na precipitação, temperatura, ventos, visibilidade e para cidades costeiras, aumento do nível do mar com os riscos associados de inundações e danos (Love et al., 2010). Os perigos climáticos podem afetar a infraestrutura e o desempenho operacional dos sistemas de transporte urbanos, bem como gerar mudanças no comportamento dos usuários, cujos desdobramentos podem abranger aspectos da qualidade de vida e economia das cidades, entre outros (ITDP, 2017). Em relação aos modos de transporte costeiros, todos são considerados vulneráveis, mas a exposição e os impactos podem variar, por exemplo, por região, modo de transporte e localização/ elevação e condição da infraestrutura de transportes (IPCC, 2012).

Segundo Eichhorns (2009), os impactos climáticos no transporte podem ser classificados em três aspectos: (i) Impactos nas infraestruturas de transportes¹⁹; (ii) impactos nos veículos e (iii) impactos no comportamento de mobilidade. Com as alterações climáticas, a infraestrutura precisará ser construída e mantida para suportar temperaturas mais altas, tempestades piores, chuvas e inundações mais intensas, assim como níveis mais altos do mar. Os veículos terão de ser adaptados para funcionarem bem em condições climáticas mais quentes e ainda proporcionarem conforto de viagem. O comportamento será afetado principalmente em dias de clima extremo, como ondas de calor, inundações, chuvas intensas, altas velocidades do vento e atividade tempestuosa.

O Painel Brasileiro para a Mudança Climática (PBMC) identifica na literatura sobre o impacto das alterações climáticas na demanda de transporte, pouca evidência empírica sobre mudanças no comportamento de viagem devido a condições adversas do clima. Segundo consta, a maioria dos estudos foca na mudança modal, principalmente no uso da bicicleta sob condições meteorológicas diversas e

¹⁹ No caso desta dissertação, os impactos e vulnerabilidades dos sistemas e infraestruturas de transporte se limitarão aos transportes terrestres, função do maior impacto diário e recorrente na vida das populações urbanas, não sendo portanto abrangidos os transportes aéreos e marítimos. Poucos estudos examinam a vulnerabilidade destes dois tipos de transporte e infraestrutura, mas de modo geral, as alterações climáticas poderiam significar mais atrasos e perturbações relacionadas com o tempo (IPCC, 2014, p. 559)

apresentam, por exemplo, a redução no percentual de viagens de bicicletas em dias frios e chuvosos e aumento percentual em dias com condições meteorológicas favoráveis. Segundo os estudos, temperaturas baixas, vento forte e precipitação impactam negativamente sobre o uso da bicicleta, que refletem no aumento pela procura do automóvel como forma de transporte (PBMC, 2014).

A migração para o modal automóvel em condições climáticas adversas e em eventos extremos pode também acontecer do transporte público coletivo para o individual, se estes não puderem suprir as necessidades de deslocamento em função dos impactos causados nas infraestruturas e operações, como veremos no próximo item deste capítulo.

Os eventos extremos relacionados às alterações climáticas afetarão além transporte urbano, a infraestrutura de energia e telecomunicações, que têm relação muitas vezes com o funcionamento do sistema de transporte, incluindo uma variedade de estoque de capital, como ponte, túneis, estradas, ferrovias, instalações portuárias, sensores de dados e redes sem fio, entre outros. Na região da Costa do Golfo dos Estados Unidos, 27% das principais estradas, 9% das linhas ferroviárias e 72% dos portos estão em altitudes iguais ou inferiores a 122 cm. Com um surto de tempestade de 7 m, mais da metade das principais rodovias da região, quase metade das malhas ferroviárias, 29 aeroportos e praticamente todos os portos estão sujeitos a inundações (Savonis et al., 2008). Avaliar as possíveis interrupções das redes de transporte dentro das cidades e sistemas urbanos, torna-se fundamental (IPCC, 2014).

As considerações sobre alterações climáticas devem ser, portanto, integradas ao projeto geral do sistema de transporte, aos novos desenvolvimentos de transporte, bem como às atividades de manutenção das redes de transporte existentes, a fim de tornar os sistemas mais resilientes aos impactos futuros. A vulnerabilidade de um sistema de transporte metroviário às inundações, por exemplo, depende da exposição do sistema às inundações (frequência com que acontecem); da sensibilidade do sistema à inundação (atrasos, ou interrupção total dos serviços quando a água atinge determinado nível); e da capacidade dos prestadores de serviços locais ou instituições e suas respectivas infraestruturas para lidar com os problemas (por exemplo através de um sistema de bombeamento adequado) (Eichhorns, 2009). Tudo isso deve ser pensado em conjunto com estratégias para preparação deste sistema para receber inundações cada vez mais frequentes.

A vulnerabilidade dos sistemas de transporte às alterações climáticas traz também uma outra questão de extrema relevância relacionada às populações de baixa renda e o espaço que ocupam nas cidades. Moradores urbanos de baixa renda podem ser profundamente afetados durante e após eventos extremos que danificam ou interrompem as ligações críticas de transporte público, impedindo o acesso ao trabalho e aumentando a exposição aos riscos à saúde (ITDP, 2017; Eichhorns, 2009).

O acesso limitado de famílias de baixa renda ao transporte público, pode fazer com que percam mais tempo, ou não consigam desempenhar suas atividades, quando comparado às famílias ricas, pois famílias mais pobres muitas vezes não possuem automóvel e moram afastadas dos centros urbanos e dependem exclusivamente do transporte público coletivo. Portanto, a vulnerabilidade dos moradores urbanos de baixa renda não pode ser reduzida apenas à sua pobreza. Depende em grande parte das políticas locais. Os governos municipais podem melhorar a resiliência de suas populações pobres e vulneráveis, suprimindo algumas necessidades específicas, como a oferta de um sistema de transporte urbano acessível, seguro e inclusivo, especialmente em tempos de crise. Os bairros pobres terão que ser ativamente integrados ao planejamento urbano, de uso da terra e de transporte - não segregado - para aumentar a resiliência da maioria urbana e dos sistemas urbanos como um todo (Eichhorns, 2009).

Os impactos diretos de condições meteorológicas extremas nos transportes são mais facilmente avaliados do que os impactos indiretos ou possíveis efeitos indiretos entre os sistemas. Estudos examinaram com frequência os impactos diretos das inundações na infraestrutura de transporte, mas os custos indiretos de atrasos, desvios e cancelamento de viagens também podem ser substanciais (Koetse e Rietveld, 2009). Muitos serviços municipais podem ficar constantemente inacessíveis em função da paralisação do sistema, gerando grandes problemas para a população além das perdas econômicas (Revi, 2005). Os transportes e outras redes de infraestruturas urbanas são frequentemente interdependentes e estão localizados próximos uns dos outros, mas apenas algumas avaliações consideraram os impactos conjuntos (Kirshen et al., 2008; Hayhoe et al., 2010).

Além do exposto, os sistemas de transporte são essenciais para uma resposta eficaz a desastres - por exemplo, onde as populações precisam ser evacuadas antes de uma tempestade que se aproxima ou onde é necessário prover urgentemente comida, água e serviços de emergência para as populações afetadas (IPCC, 2014). Por isso, a

vulnerabilidade dos sistemas de transporte às alterações climáticas é de extrema importância, no planejamento atual da mobilidade urbana, pois tem relação direta com a segurança das populações.

Entendendo a necessidade de uma mudança de paradigma no que diz respeito à mobilidade urbana, apontando para o uso dos transportes públicos coletivos como base da locomoção de pessoas nas cidades, precisamos levar em conta a necessidade de adaptação destes sistemas aos impactos esperados das alterações climáticas, tornando-os eficientes e preparados para enfrentar os atuais e novos desafios, na busca por um futuro mais sustentável,

1.3.3 Impactos das inundações na mobilidade urbana

Os impactos das inundações podem interferir na mobilidade urbana como um todo, na medida em que afetam diretamente o sistema, mas trazem também impactos indiretos, resultantes deste processo. A figura abaixo retirada do Estudo Técnico para Adaptação às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana (ITDP, 2017)²⁰, representa possíveis encadeamentos de efeitos a partir da ocorrência de mudanças nos padrões de precipitação e elevação do nível do mar, que poderão impactar a mobilidade nas cidades em função das inundações cada vez mais frequentes, nos cenários futuros das alterações climáticas.

²⁰ Estudo realizado pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP, Brasil) com o apoio da Embaixada Britânica que visa desenvolver conteúdos para subsidiar a revisão do Plano Setorial de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM), publicado em junho/2013, pelo Ministério das Cidades do Brasil.



Figura 5 - Fluxograma de causa e efeito para os perigos oferecidos por mudanças nos padrões de precipitação e no nível do mar - As caixas de cor amarela representam impactos de primeira ordem a partir dos perigos climáticos; as de cor laranja, os impactos diretos e indiretos sobre a infraestrutura e os sistemas de transportes. As caixas vermelhas representam os potenciais impactos na mobilidade urbana como um todo; e as caixas verdes, os impactos indiretos de maior amplitude. Fonte: (ITDP, Estudo Técnico - Adaptação às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana, 2017)

Os eventos secundários decorrentes destas mudanças nos padrões climáticos, como as inundações costeiras, inundações interiores, saturação do solo, vendavais, enxurradas e alagamentos (caixas com cor amarela) são considerados como impactos de primeira ordem, que podem influir sobre as infraestruturas de apoio à mobilidade urbana expostas (vias, estações terminais, Obras de Arte Especiais – OAE, equipamentos, casas de máquina, etc.). Porém a magnitude destes impactos dependerá de uma série de características físicas e de ocupação da área exposta, que influenciam nos parâmetros das inundações (velocidade do escoamento, tempo de permanência, duração do evento, frequência e taxa de elevação do nível da água).

Os níveis de precipitação que interferem na infraestrutura de mobilidade variam muito entre cidades, dentro das cidades e entre os sistemas de transporte. Eles dependem não só do dimensionamento da infraestrutura de drenagem, mas de sua manutenção e limpeza. No caso das cidades costeiras, foco desta dissertação, as inundações ainda são potencializadas pelo regime de marés, que podem influenciar no tempo de permanência das águas, provocando inundações mais duradouras.

Não há, portanto, para as cidades um limiar crítico comum de volume de chuvas a partir do qual ocorrem as inundações de vias e outros componentes do sistema de transporte, o que facilitaria a identificação das situações de perigo. Para entender as vulnerabilidades na mobilidade urbana decorrentes das chuvas intensas, de maneira completa, é necessário um mapeamento profundo das áreas críticas das cidades, a partir do qual é possível compreender o comportamento da macrodrenagem das bacias hidrográficas e estabelecer os trechos e elementos dos sistemas de transporte mais expostos e a sua sensibilidade às chuvas e tempestades. Esta análise combinada com o entendimento do padrão de deslocamento das pessoas, pode apontar as infraestruturas mais críticas para o sistema de mobilidade urbana (ITDP, 2017).

No caso das vias, as inundações são sempre um transtorno para os moradores, porém a vulnerabilidade da mobilidade urbana da cidade dependerá da importância da via exposta. As consequências destes eventos em vias que concentram grande fluxo de transportes coletivos ou individuais, são muito maiores para a população, caso não possuam rotas alternativas. Este fato somado ao fluxo pendular, normalmente resultado de grande número de viagens casa-trabalho percorrendo grandes distâncias, como é o caso de muitas regiões metropolitanas (RMs), aumenta ainda mais a vulnerabilidade da mobilidade urbana.

No que toca os transportes por trilhos, importantes pilares da mobilidade das principais regiões metropolitanas, linhas construídas em áreas baixas tendem a apresentar maior frequência de inundações, influenciada pela alteração do uso do solo no entorno dos corredores ferroviários, como aconteceu no processo histórico de ocupação das RMs. Estações ferroviárias e, principalmente, as metroviárias, também podem ser vulneráveis a inundações na medida em que seu sistema de drenagem depende do entorno e, quando precário, faz com que os riscos de inundações aumentem. Somado a isso, a vulnerabilidade do conjunto de drenagem das estações e de seu entorno se torna maior por conta da disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos, que obstruem os bueiros, valas e tubulações.

Além das inundações as chuvas afetam também o desempenho operacional de sistemas sobre trilhos, com alteração da velocidade operacional que pode chegar a 20% de redução em função da diminuição da aderência das rodas com os trilhos. Com o aumento no tempo das viagens, podem ocorrer estrangulamento na rede de transporte, causando sobrecarga nas estações e em outros modais. Esse tipo de impacto é menos significativo em trens em função do peso das composições.

Como dito anteriormente, em regiões litorâneas a intensidade de tempestades oceânicas combinada com a elevação do nível médio do mar pode elevar a altura das marés, provocando maiores inundações costeiras. Regiões de cota mais baixa são, portanto, mais vulneráveis nesse sentido e as principais ameaças à infraestrutura de transporte relacionada à elevação do nível do mar são: 1) diminuição da faixa de areia das praias, expondo a infraestrutura de ruas, avenidas e calçadas ao ataque direto das ondas; 2) recuo da linha de orla das baixadas de lagoas costeiras e baías, com possíveis elevações acima da média em função do afundamento desses terrenos em orla causando inundações mais frequentes; e 3) alteração do processo de macrodrenagem de águas interiores, diminuindo o desnível entre o continente e o mar, aumentando o tempo de permanência das águas das chuvas (Rosman et al., 2009 *apud* ITDP, 2017).

A ocupação inadequada da faixa litorânea de praia pode causar problemas em relação ao 'avanço do mar'. A construção de vias litorâneas tem servido para delimitar geograficamente a expansão urbana em direção ao mar, ao mesmo tempo que garante o acesso público à praia (Neves & Muehe, 2010 *apud* ITDP, 2017). Muitas vezes o posicionamento das infraestruturas avança sobre o 'perfil de tempestade' (limite onde ocorre o máximo avanço da água do mar, decorrente de ressacas ou ondas de

tempestades), considerando apenas o 'perfil de tempo bom'. Apesar das mais recentes normas fixarem uma faixa de não edificação litorânea, existem novas construções que negligenciam estas recomendações e construções antigas que são de difícil remoção.

Como resultado da elevação do nível do mar, das ressacas ou da diminuição do aporte de sedimentos, tem-se a mudança no perfil de praia, podendo afetar a infraestrutura urbana costeira, principalmente relacionada à mobilidade urbana e habitação, o que será intensificado em função das alterações climáticas.

As mudanças na intensidade das tempestades e as respectivas alterações nos parâmetros hidrológicos dos rios podem causar também problemas estruturais em pontes. As fundações dessas infraestruturas são geralmente projetadas considerando parâmetros hidrológicos históricos. A maior recorrência de eventos climáticos que façam ultrapassar os limites máximos desses parâmetros oferece novos níveis de risco de colapso das fundações (La Rovere; De Souza, 2015). Por exemplo, obras de artes especiais (pontes, etc.) podem ser projetadas para resistir a certos níveis de inundações como, por exemplo, aquelas cujo tempo de recorrência é de 1 a cada 100 anos, de acordo com o histórico da região. Para alguns cenários climáticos futuros, inundações com tempo de recorrência de 1 a cada 100 anos podem ser bem mais severas do que apontam os dados históricos, deixando o projeto com maior risco de colapso.

As tempestades mais frequentes e mais severas oferecem ameaça também à infraestrutura aérea da cidade, como postes, sinalização e arborização, cujos danos podem afetar estações e fluxos de veículos e pedestres. Um dos riscos para a mobilidade urbana e segurança das pessoas é a queda de árvores sobre vias, sistemas de fornecimento de energia e telecomunicações, decorrente de tempestades com fortes rajadas de vento. Um fator que aumenta esta sensibilidade é a utilização de espécies pouco adequadas ao espaço urbano e com baixa resistência a ventos fortes, com raízes superficiais, galhos pouco flexíveis, porte avantajado, alta densidade de folhagem e da madeira, idade avançada, além da manutenção inadequada. A queda de árvores no espaço urbano também pode sofrer influência de fatores urbanísticos que favorecem a formação de corredores de ventos, além do uso de pavimentos que compactam e diminuem a camada superficial de solo, que impedem o crescimento e aprofundamento das raízes.

O sistema de transporte também pode sofrer impactos relacionados ao aumento da frequência de escorregamentos/deslizamentos de terra (encostas e taludes ou

qualquer outro movimento de massa), em função das tempestades e chuvas prolongadas (mais que 3 dias). Esse material mobilizado pode bloquear ou afetar a segurança de ruas, avenidas e vias férreas urbanas. Áreas ainda mais sensíveis são as com ocupações cujo aterramento não tenha sido realizado de maneira adequada, ou por insuficiência de serviços públicos, como os escorregamentos causados por lixo. Assim, os impactos possuem relação específica com as características naturais (sensibilidade) e a localização das infraestruturas de cada local (exposição), necessitando que cada cidade identifique através de seus diagnósticos as infraestruturas mais expostas.

Outros componentes do sistema de transporte das cidades, como os elementos estruturais da infraestrutura (ciclovias, calçadas, pavimentos, estações terminais, entre outros), também poderão ser afetados pela maior frequência de inundações. Quando a drenagem dessas estruturas não consegue evitar níveis excessivos de umidade, os materiais utilizados (concreto, aço e madeira) podem sofrer maior deterioração (Nguyen; Wang; Leicester, 2013). Em função da maior exposição, essas infraestruturas podem perder sua capacidade de suporte às intempéries climáticas, com consequências diretas na durabilidade, na segurança, nos custos de manutenção e na oferta dos serviços. No caso dos corredores de ônibus com pavimento asfáltico, o efeito da umidade combinado com a ação de temperaturas extremas e a circulação de veículos pesados causa maior deterioração ao pavimento, o que provoca maior frequência de veículos danificados. Segundo estudos, o custo anual mundial de corrosão de infraestruturas foi estimado em US\$ 1,8 trilhão em 2008 (Schmitt, 2009 *apud* ITDP, 2017), o que significa que um pequeno aumento percentual como resultado das alterações climáticas pode representar incrementos em custos de manutenção e reparo na ordem de bilhões de dólares no mundo.

Além dos elementos estruturais, os equipamentos e sistemas elétricos em área susceptível a inundações também podem sofrer maior deterioração. Quando atingidos pela água, componentes do sistema de transporte sobre trilhos (como motores de indução de parada, transformadores, interruptores elétricos) e rodoviário (como sinais, câmeras de controle) podem ficar inoperantes por horas. Cabos enterrados podem sofrer em função de deslocamentos, rachaduras ou movimentos do solo, consequências de processos de infiltração, podendo reduzir o isolamento dos cabos. Em último caso, os deslocamentos podem comprometer a sustentação dos postes, colocando em risco

o funcionamento do sistema. A recorrência de tais fenômenos eleva a necessidade de complexos sistemas de bombeamento, e pode aumentar a necessidade de manutenção e a frequência de interrupções parciais de partes fundamentais do sistema de transportes.

Pátios e garagens também podem ser expostos às mudanças no padrão de precipitação e ao aumento do nível do mar, principalmente em áreas de baixa elevação, o que poderia causar danos significativos e paralisação no sistema de transportes, já que afetariam grande quantidade de veículos (ônibus, trens metrô e carros) ao mesmo tempo. A recuperação dos danos, neste caso, pode ser lenta comprometendo o sistema por longos períodos, além de potencializar as perdas econômicas e patrimoniais no sistema de transportes público e privado.

Todos os impactos descritos acima, que refletem em falhas estruturais, colaboram para a redução do desempenho do sistema de transporte, medido através da redução de velocidade de operação (trens, metrô e ônibus) e aumento do tempo de deslocamento da população. Além disso, criam maior dificuldade de acesso à infraestrutura de transporte público. A magnitude da redução de desempenho dependerá da intensidade do evento, podendo ser a redução no fluxo de passageiros, a interrupção de algumas horas ou até paralizações de dias.

Os impactos combinados, fazem com que o sistema de transporte tenha dificuldades para manter os níveis de serviço, segurança, conforto e eficiência para os quais foi projetado, acarretando em uma reorganização, temporária ou persistente, da demanda por modos de transporte alternativos, o que pode provocar sobrecarga nos sistemas receptores e outros problemas na mobilidade urbana. Esta redução no desempenho e o aumento da dificuldade de oferta do serviço pode acarretar uma perda de competitividade dos transportes públicos coletivos em função da diminuição da eficiência e o aumento dos custos causados por maiores impactos do clima, podendo gerar uma mudança no comportamento da demanda em direção a uma nova estrutura de divisão modal a médio e longo prazos.

Usuários insatisfeitos com os transportes públicos coletivos podem migrar para modos individuais motorizados, desde que haja renda suficiente, acarretando num aumento dos congestionamentos, piorando a mobilidade urbana de todos os agentes. A mudança para o modo individual motorizado é mais difícil de acontecer com a população mais vulnerável ou de menor renda. Nesse caso, além de maiores perdas no

tempo de viagem, um possível aumento das tarifas comprometeria uma fatia maior da renda para transportes. No entanto, as perdas econômicas em função da piora da mobilidade e no desempenho dos transportes públicos seriam para toda a população da cidade e aconteceriam por múltiplas causas: congestionamentos, maiores custos com tarifas e piora no fluxo de deslocamento de bens e serviços dentro da cidade.

A interconectividade das infraestruturas de transporte faz com que os impactos combinados possam afetar todo o sistema, num efeito dominó, causando rupturas que são maiores do que o próprio impacto climático. Perdas econômicas de longo alcance podem acontecer, já que as pessoas não podem trabalhar ou os bens não podem ser distribuídos. Além disso, algumas infraestruturas urbanas críticas, como hospitais, não podem ser alcançados rapidamente pois as rotas de acesso são inundadas ou interrompidas. Os efeitos adversos podem ser particularmente grandes, quando as áreas já mal conectadas são completamente cortadas, os centros de transporte centrais são afetados ou o sistema de transporte está trabalhando próximo à sua capacidade (Eichhorns, 2009).

Os impactos das inundações, foco desta dissertação podem gerar grandes perdas econômicas, afetando diretamente elementos infra estruturais da rede, bem como através de impactos indiretos causados pela interrupção ou paralisação do sistema. Também podem acarretar em perdas econômicas quando consideradas a deterioração dos materiais utilizados nas infraestruturas, estações e veículos, em função da umidade excessiva causada pela exposição frequente à água.

Questões sociais como a falta de acesso, principalmente das famílias mais pobres, aos serviços urbanos e a incapacidade de proporcionar meios de evacuação e abastecimento em situações de desastres, deixam ainda mais evidente a forma como os impactos, ainda que indiretos, causados pelas inundações na mobilidade urbana afetam as cidades e as populações.

1.4 Adaptação e Resiliência

No contexto das Alterações Climáticas, é cada vez mais urgente falar sobre adaptação para redução das vulnerabilidades e aumento da resiliência nas cidades. No caso das infraestruturas de transporte, para Eichhorns (2009), adaptar muitas vezes significa, na verdade, criar uma infraestrutura resiliente. “O sistema de transporte é a

salvação de qualquer sistema urbano e, portanto, está no centro de sua resiliência.” (Eichhorns, 2009, p. 7).

A resiliência indica a capacidade de manter as funções centrais de um sistema em face de perigos e impactos, em particular de populações vulneráveis. No contexto das cidades a resiliência é um produto de governos, grupos da sociedade, empresas e indivíduos com forte capacidade de adaptação. No caso das alterações climáticas, isso significa antecipar os efeitos e planejar as adaptações necessárias.

No 4º relatório do IPCC (2007), adaptação é definida como “O ajuste nos sistemas naturais ou humanos aos estímulos climáticos reais ou esperados e seus efeitos, o que modera o dano ou explora as oportunidades benéficas”. Já no 5º relatório do IPCC (2014) a definição do termo adaptação aparece de forma um pouco mais abrangente:

“O processo de adaptação ao clima real ou esperado e seus efeitos. Em sistemas humanos, adaptação procura evitar ou moderar danos, ou explorar oportunidades benéficas. Em alguns sistemas naturais, a intervenção humana pode facilitar a adaptação ao clima esperado e seus efeitos.

- Adaptação de crescimento: ações de adaptação em que o objetivo central é manter a essência e a integridade de um sistema ou processo em uma dada escala.
- Adaptação de transformação: adaptação que altera os atributos fundamentais de um sistema em resposta ao clima e seus efeitos (IPCC, 2014, p. 1758). “

As abordagens incrementais, ou seja, ações de adaptação de crescimento, continuam sendo o foco de grande parte da seleção de opções de adaptação para reduzir os impactos e alcançar co-benefícios, embora já seja mais comum a atenção à flexibilidade e margens de segurança. Porém, segundo o IPCC (2014), existem evidências crescentes de que as adaptações de transformação podem ser necessárias para se preparar para os impactos climáticos. Apesar das estratégias sem arrependimento, baixo-arrependimento e win-win tenham atraído maior atenção no passado e continuem a ser aplicadas, há um crescente reconhecimento de que uma resposta

adaptativa adequada significará agir em face da incerteza contínua sobre a extensão e a natureza dos impactos das alterações climáticas e que em alguns casos, existem limites para a eficácia das abordagens incrementais. Por este motivo, muitos veem a necessidade de mudanças mais transformadoras em nossa percepção e paradigmas sobre a natureza das alterações climáticas, adaptação e sua relação com outros sistemas naturais e humanos.

A adaptação, portanto, pode ser entendida como o conjunto de ações sobre os sistemas físico-territoriais, sociais e econômicos, que atuem na redução da vulnerabilidade local e que busquem consolidar o estado de resiliência. Tais ações de adaptação podem ser de diversos tipos e escalas, devendo atuar diretamente sobre a exposição e as componentes da vulnerabilidade: sensibilidade e capacidade adaptativa.

As necessidades de adaptação surgem quando os riscos previstos ou os impactos experimentados das alterações climáticas exigem ações para garantir a segurança das populações e dos ativos, incluindo os ecossistemas e seus serviços.

Apesar do enorme progresso nas previsões climáticas, a falta de informações definitivas ou abrangentes sobre os impactos e a vulnerabilidade das alterações climáticas permanece, especialmente no nível local. Assim, um grau de incerteza permanecerá sempre no planejamento da adaptação. Essa incerteza pode, no entanto, ser levada em conta por abordagens robustas de planejamento e não deve ser usada como um falso pretexto para não planejar hoje a adaptação.

1.4.1 Categorias de Adaptação

A adaptação pode assumir muitas formas diferentes. Smit e Pilifosova (2003 *apud* Lemos, 2010) fazem uma extensa e detalhada classificação das formas de adaptação. Segundo os autores, a “adaptação pode se diferenciar por atuar sobre sistemas naturais ou humanos, por ser promovida pelo poder público ou pela iniciativa privada, por ter enfoque autônomo ou planejado, por ser feita antes ou depois dos impactos experimentados, por ter alcance local ou ampliado, por ter objetivo de escapar, proteger ou tolerar impactos, etc.”

Smit et al. (2000 *apud* Brum, 2015) classificam as opções de adaptação segundo sete categorias: (i) no propósito com respeito a um estímulo climático; (ii) no tempo de reação; (iii) no âmbito temporal; (iv) abrangência espacial ou extensão institucional; (v)

função; (vi) forma; e (vii) desempenho. Tais categorias dizem respeito respectivamente aos tipos de adaptação autônomo/planejado; antecipatória/reativa; curto prazo/longo prazo; localizado/disperso; Recuar/Acomodar/Proteger; Estrutural/ Legal/ Institucional /Regulatório/Financeiro/ Tecnológico; Custo/Eficiência/Implementabilidade/Equidade.

Biaginia et. al. (2014) fazem uma revisão da literatura de Smit et al. (2000), apoiado por trabalhos subsequentes, em que se verificou que as tipologias de atividades de adaptação geralmente se concentram em uma das cinco áreas principais: tempo relativo ao estímulo (antecipatório, concorrente, reativo), intenção (autônomo, planejado), escopo espacial (local, regional, nacional), forma (tecnológica, comportamental, financeira, institucional) e grau de mudança necessária (incremental, transformacional) (Carter et al., 1994; Fidelman et al., 2013; Huq et al., 2003; Smit e Skinner, 2002; Smit e Wandel, 2006; Wilbanks e Kates, 1999 *apud* Biaginia, Bierbaumb, & Missy Stultsc, 2014).

Além dos tipos autônomo/planejado e antecipatória/reativa, o AR5 (IPCC, 2014) divide as opções de adaptação nas seguintes categorias: estrutural/ física; social; e institucional. As estratégias recuar/acomodar e proteger são apresentadas como opções de adaptação para zonas costeiras. Os setores público e privado aparecem no relatório não como tipo de adaptação, como em relatório anterior de 2001, mas como agentes promotores das ações e portanto podem estar embutidos nos outros tipos.

Como síntese das diversas classificações das formas de adaptação abordadas na literatura consultada e entendendo que cada autor busca a melhor maneira de apresentar estes conceitos, aqui faremos uma classificação baseada em:

- Tipo: Reativa/Antecipatória, Autônoma/Planejada
- Estratégias: Recuar, Proteger, Acomodar
- Forma: Física, Social ou Institucional
- Magnitude: Medidas Estruturais e não-estruturais

1.4.1.1 Tipos de adaptação: Reativa/Antecipatória, Autônoma/Planejada

A adaptação do tipo reativa ocorre após terem sido observados impactos das Alterações Climáticas (IPCC, 2001). Já a adaptação antecipatória ocorre antes dos impactos das Alterações Climáticas, sendo também muitas vezes referida como adaptação do tipo pró-ativa (IPCC, 2007).

A adaptação autônoma também chamada por vezes de espontânea, é definida pelo IPCC (2007) como uma ação que não constitui uma resposta consciente a estímulos climáticos, mas é desencadeada por mudanças ecológicas em sistemas naturais e de mercado ou mudanças nos sistemas de bem-estar humanos. Porém, segundo o AR5 (IPCC, 2014), esta classificação tem sido por vezes inconsistente pois o termo é frequentemente usado para se referir a ações de adaptação proposital realizadas por agentes sem contribuições externas, tais como políticas, informações ou recursos, e às vezes para se referir a ações intencionais que são reativas a impactos climáticos experimentados, em vez de serem pró-ativos ou antecipatórios.

Lemos (2010) utiliza o termo adaptação autônoma, com base na classificação de Smit e Pilifosova (2003), para se referir ao propósito da adaptação. Segundo a autora, adaptação autônoma é aquela orientada para uma vulnerabilidade ou um potencial de impacto particular. Já a adaptação planejada, é aquela que foca nos riscos mais aparentes e age no reforço da capacidade adaptativa como estratégia de abordagem. Segundo o IPCC (2007), este tipo de adaptação é resultado de uma política deliberada, baseado em uma consciência de que as condições mudaram ou estão prestes a mudar e que é necessário agir para voltar, manter ou alcançar um estado desejado.

Segundo esta abordagem, as adaptações autônomas (ou “micro”) podem apresentar desafios com relação a avaliação de sua eficácia e a impossibilidade de transferir conhecimento para situações similares, devido a especificidade do lugar, da cultura e da gestão a que a medida adotada fica associada. Esta abordagem foca principalmente nos impactos climáticos diretos e em mudanças na estrutura física do sistema enquanto que a adaptação planejada (ou “macro”), foca no aumento da capacidade adaptativa. Este último tipo fortalece o sistema não somente para lidar com os riscos climáticos futuros, associados às alterações climáticas, mas com outros riscos existentes.

Medidas de adaptação autônoma, tendem a ser reativas e de custo elevado, e frequentemente realizadas por particulares, entretanto, podem ter bons resultados e, certamente, são necessárias em determinadas situações, principalmente se forem implementadas paralelamente a ações planejadas, que podem ser realizadas tanto por atores privados quanto públicos.

Estes tipos de adaptação se sobrepõem e podem se misturar apesar das tendências, podendo ser planejada e reativa ou planejada e antecipatória. Da mesma

forma que a adaptação autônoma pode inicialmente ter sido aplicada em resposta ao tipo reativa, mas pode também ser antecipatória.

A adaptação às inundações, por exemplo, pode incluir medidas de adaptação planejadas ou antecipatórias, como a limitação de novos desenvolvimentos em áreas propensas a inundações ou a ampliação de infraestrutura de proteção, como muros marítimos ou a melhoria dos sistemas de drenagem. Mas também pode incluir medidas de resposta reativa, como o uso de cronogramas de emergência para o transporte público, que evitam áreas inundadas (Eichhors, 2009).

1.4.1.2 Estratégias de adaptação: Recuar, Proteger e Acomodar

Respostas a uma mesma ameaça podem variar bastante em função dos recursos disponíveis no local e da vulnerabilidade específica. Na literatura, estas estratégias de adaptação aparecem relacionadas às opções para adaptação de zonas costeiras ameaçadas pela elevação do nível do mar e pelas inundações costeiras e terrestres e tem como base o IPCC (1990) (IPCC, 2014; Nicholls e Linham, 2010; Parry et. al., 2009; Richard J. T. Klein, 2003; entre outros).

Proteger: Tem a função de reduzir o risco de perigos costeiros diminuindo sua probabilidade de ocorrência, controlando os impactos do aumento do nível do mar através de engenharia dura (construção de diques e outras barreiras) ou branda (dunas de vegetação, nutrição de praias, reivindicação de terras). No entanto, um risco residual permanece sempre e a proteção completa não pode ser alcançada. A gestão do risco residual é um elemento-chave de uma estratégia de proteção que muitas vezes foi negligenciada no passado.

Acomodar: Adequação de atividades e estrutura física na área exposta para aumentar a capacidade de lidar com os efeitos dos riscos costeiros. Os impactos da elevação do nível do mar podem ocorrer e os impactos humanos são minimizados pelo ajuste do uso humano da zona costeira. Estes incluem a modernização de edifícios para torná-los mais resistentes às consequências da elevação do nível do mar, elevação de pontes baixas ou aumento da capacidade de abrigo físico para lidar com as necessidades causadas pelo mau tempo. As medidas brandas de acomodação incluem ajustes no planejamento do uso da terra, nos programas de seguro e sistemas de alerta.

Recuar: Tem função de reduzir o risco de perigos costeiros por seus efeitos potenciais. Remoção de população e estruturas da áreas exposta para permitir que as áreas úmidas migrem para o interior. A linha costeira é portanto abandonada e o sistema natural costeiro ocupa-se da terra. Esta escolha normalmente acontece quando os impactos econômicos, no meio ambiente e na vida humana são excessivos e nenhuma outra resposta é viável.

A proteção tem sido a principal resposta e isso parece continuar. No entanto, a implementação de adaptação pró-ativa e a utilização de princípios de gestão adaptativos criam oportunidades para usar outras abordagens conforme as cidades se desenvolvem ou são redesenvolvidas, incluindo a recuperação do desastre. Isso enfatiza que a redução de riscos é um processo contínuo, e não um simples conjunto de medidas técnicas, e precisa ser implementado nessa base.

A perspectiva de elevação do nível do mar e a adaptação para esse momento, pode proporcionar diferentes formas de utilização destas estratégias, que passamos a apresentar.

1.4.1.3 Forma: Física, Social ou Institucional

Segundo o IPCC (2014), as formas de adaptação podem ser categorizadas em três principais grandes grupos: Adaptação Física, Social ou Institucional.

Adaptação Física: A Adaptação física está ligada à noção de atividades concretas com saídas e resultados claros que são bem definidos em escopo, espaço e tempo. Essa categoria está subdividida em: Técnicas de engenharia; tecnologia; ações baseadas no ecossistema; e serviços.

- Técnicas de Engenharia e Ambiente Construído

Estas ações aparecem muitas vezes na literatura descritas como adaptação “dura”(hard) e pode ser considerada a mais antiga para lidar com a inundação em áreas urbanas, principalmente em zonas costeiras de baixa altitude.

Muitas das opções de adaptação baseadas na engenharia incluem o gerenciamento do fluxo de águas pluviais e residuais (tanto no interior quanto no litoral), diques de inundação, muros de contenção, modernização das infraestruturas

existentes para melhorar a resiliência de vento e inundações, alimentação de praias e reforma de edifícios, que em sua maioria são extensões e melhorias de práticas, planos e estruturas existentes; alguns projetos mais novos estão agora integrando o risco das alterações climáticas no design inicial.

Este tipo de adaptação passa por alguns desafios: primeiro, eles geralmente precisam lidar com as incertezas associadas à projeção de impactos climáticos decorrentes de suposições sobre o clima futuro, o crescimento populacional e o comportamento humano. Segundo, a longevidade e o custo da infraestrutura projetada afetam a viabilidade no início. Eles também estão sujeitos a consequências que não foram previstas. Por exemplo, depois que a costa leste da Inglaterra foi devastada pela tempestade do Mar do Norte em 1953, paredes marítimas de engenharia pesada foram colocadas em prática para proteger a costa da erosão e da inundação. No entanto, as alterações projetadas resultaram em um novo conjunto de instabilidades costeiras, incluindo distúrbios na oferta de sedimentos e danos aos ecossistemas costeiros. Como resultado, muitos promoveram uma estratégia de "expansão de capacidade em fases", que permite que novos projetos realizem modificações nos projetos iniciais como condições ou mudança de conhecimento e facilitem a construção de projetos incrementais para aliviar o fardo do financiamento inicial (IPCC, 2014).

Esse tipo de adaptação pode ser considerada autônoma pois muitas vezes atua em projetos ou setores específicos e raramente é suficiente por si só, podendo causar problemas em outros setores. Além disso, é importante considerar que dependendo da forma como essas tecnologias são aplicadas, pode criar segregações urbanas física-territorial, além de estabelecer uma relação de restrição ou incomodo com a água (Brum, 2015).

- Opções Tecnológicas

Os avanços recentes em tecnologia e informação têm sido combinados com medidas de adaptação física de engenharia. As opções tecnológicas para a adaptação às alterações climáticas incluem tecnologias “duras” e “leves”, e não apenas novas tecnologias, mas também tecnologias locais aprimoradas. Os sistemas centralizados de alta tecnologia podem aumentar a eficiência em condições normais, mas também apresentam o risco de falhas em situações de emergência em cascata.

Com a rápida difusão das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), como os telefones celulares e a Internet, a velocidade sem precedentes na qual a informação é produzida e compartilhada coloca um novo conjunto de possibilidades de comunicação. As TIC oferecem oportunidades para a disseminação de informações relevantes de cima para baixo, como previsões do tempo, avisos de perigos, informações de mercado, compartilhamento de informações e serviços de consultoria. Mas também pode gerar informações essenciais por meio de processos ascendentes, como “crowdsourcing”²¹ de informações úteis, como níveis locais de inundação, surtos de doenças e gerenciamento de respostas a desastres. MacLean (2008 *apud* IPCC, 2014) identifica três tipos de efeitos dos avanços rápidos em TIC na adaptação e desenvolvimento em geral: uso direto para monitorar e medir a mudança climática como descrito anteriormente, como um meio para aumentar a conscientização e como um facilitador para uma “governança em rede”.

- Adaptação com base no ecossistema

É o uso da biodiversidade e serviços ecossistêmicos como parte de uma estratégia de adaptação global para ajudar as pessoas a se adaptarem aos efeitos adversos das Alterações Climáticas (Convenção sobre Diversidade Biológica, 2009 *apud* IPCC, 2014). Muitas vezes, quando confrontados com ameaças relacionadas ao clima, a primeira consideração é dada às abordagens de engenharia e tecnológicas para a adaptação. No entanto, trabalhar com a capacidade da natureza e buscar opções ecológicas, como manutenção e restauração costeira e de zonas úmidas, para absorver ou controlar o impacto da mudança do clima em áreas urbanas e rurais pode ser um meio eficiente e efetivo de adaptação.

Esta abordagem de adaptação pode ser muitas vezes considerada “leve”(soft) e inclui: restauração ecológica; conservação do solo; arborização e reflorestamento; conservação de manguezais; manejo florestal adaptativo e integrado; infraestrutura verde (por exemplo, árvores de sombra, os telhados verdes, pavimentos porosos, parques urbanos); entre outros.

²¹ “Por definição, o *crowdsourcing* combina os esforços de voluntários identificados ou de trabalhadores em tempo parcial, num ambiente onde cada colaborador, por sua própria iniciativa, adiciona uma pequena parte para gerar um resultado maior.”- Fonte: Wikipedia- acesso em 26 de março de 2019

O uso de manguezais e restingas como um amortecedor contra danos às comunidades costeiras e infraestrutura tem sido bem pesquisado e encontrado para ser eficaz fisicamente e financeiramente em locais apropriados (Day et al., 2007; Morris, 2007 *apud* IPCC, 2014). A infraestrutura verde pode melhorar a gestão das águas pluviais e reduzir o risco de inundações nas cidades, e pode moderar o efeito ilha de calor, além de ter co-benefícios para mitigação

Uma consideração adicional é que as abordagens baseadas em ecossistemas são frequentemente mais difíceis de implementar e avaliar, pois geralmente requerem cooperação entre instituições, setores e comunidades, e seus benefícios também estão espalhados por um conjunto de partes interessadas igualmente amplo. Uma das principais barreiras à adaptação baseada no ecossistema é a falta de padrões e metodologias comparáveis aplicados às abordagens de engenharia, demonstrando assim a necessidade de mais diálogo entre as comunidades de engenharia e ecológica.

- Adaptação baseada na prestação de serviços

Prestação de serviços consiste em uma gama diversificada de atividades específicas e mensuráveis que podem melhorar as condições de vida, auxiliar na prevenção dos riscos de desastres, ou até mesmo no aumento da capacidade adaptativa das populações em situações pós-desastre.

Por exemplo, uma medida para apoiar as populações mais vulneráveis são as redes de segurança social. Programas destinados a fornecer apoio por meio de programas de finanças ou seguros em épocas de eventos extremos podem fornecer uma ponte importante para as populações vulneráveis (Hoeppe e Gurenko, 2006; Hochrainer et al., 2007; Alderman et al., 2009; Meze- Hausken et al., 2009 *apud* IPCC, 2014).

As opções citadas com frequência neste domínio incluem, entre outras, limpar os sistemas de drenagem para evitar inundações, diversificar os serviços de abastecimento de água para compensar a mudança no abastecimento de água e manter espaços públicos abertos dedicados à recuperação de desastres e outros propósitos de emergência.

No nível local, a infraestrutura associada à prestação de serviços básicos, como água, saneamento, disposição de resíduos sólidos, energia, gestão de águas pluviais e rodovias e transporte público, é essencial para aumentar a capacidade adaptativa

(Paavola, 2008; Bambrick et al. , 2011; Barron et al., 2012; *apud* IPCC,2014). As ligações de transporte permitem que os agregados familiares participem no comércio, por exemplo, para aceder aos mercados agrícolas, embora as cadeias de abastecimento possam ser vulneráveis à perturbação climática. Os serviços habitacionais são particularmente críticos porque novos padrões de temperatura e precipitação alterarão a habitabilidade e a estabilidade das residências, enquanto o aumento da frequência e intensidade dos desastres naturais colocará assentamentos e casas em terras estáveis e instáveis sob maior risco Embora uma opção seja realocar pessoas que habitam áreas vulneráveis, alguns argumentam que a melhoria in situ pode ser mais eficaz em termos de custo, especialmente para abordar assentamentos informais em países em desenvolvimento (Revi, 2008).

Adaptação Social: Pode ser subdividida em Educacional; Informacional; e Comportamental.

A complexidade da adaptação climática significa que as opções de adaptação são fortemente influenciadas por formas de aprendizagem e compartilhamento de conhecimento. Muitos estudiosos observaram que a educação é um indicador-chave de como as pessoas selecionam as opções de adaptação (Chinowsky et al., 2011; Sovacool et al., 2012), enquanto a falta de educação é uma restrição que contribui para a vulnerabilidade (Paavola, 2008 *apud* IPCC, 2014).

Existem várias opções de adaptação que visam a vulnerabilidade específica de grupos desfavorecidos, incluindo a redução da vulnerabilidade e desigualdades sociais. Adaptação com base na comunidade (ACB) refere-se à geração e implementação de estratégias de adaptação dirigidas localmente, operando em um paradigma de empoderamento, de aprender fazendo, de baixo para cima, que atravessa setores e processos tecnológicos, sociais e institucionais. Os esquemas de proteção social incluem iniciativas públicas e privadas que transferem renda ou ativos para os pobres urbanos, protegem contra riscos de subsistência e elevam o status social e os direitos daqueles que são marginalizados.

A conscientização, extensão, divulgação, reuniões comunitárias e outros programas educacionais são importantes para disseminar o conhecimento sobre as opções de adaptação, bem como para ajudar a construir capital social crítico para a

resiliência social (Adger, 2003; Krasny et al., 2010; Wolf et al., 2010 *apud* IPCC, 2014). Nesse sentido, a educação pode ser vista como um bem público que promove o diálogo e, portanto, permite o desenvolvimento da resiliência tanto no nível do aprendizado individual quanto no nível dos sistemas socioecológicos.

Estratégias informacionais são essenciais para a adaptação. Os sistemas de aviso prévio são essenciais para garantir a conscientização dos perigos naturais e para promover uma resposta oportuna, incluindo a evacuação. Várias abordagens estão sendo empregadas em todo o mundo, incluindo rádio de alerta, sistema de alerta de emergência, apresentações e briefings.

Os serviços climáticos surgiram inicialmente como uma expansão das tarefas fornecidas pelos serviços meteorológicos e podem atuar como “intermediários do conhecimento” que estabelecem um diálogo entre a ciência e o público, para facilitar o apoio à decisão. A conscientização através do desenvolvimento de cenários, modelagem computacional e representação de papéis é eficaz na preparação tanto das autoridades responsáveis quanto do público. Como observado anteriormente, as TIC estão facilitando a rápida disseminação de informações. No entanto, medidas de baixa tecnologia, como folhetos, anúncios de serviço público e contato direto com os residentes locais também são importantes para promover a conscientização e a resposta, especialmente quando o acesso às TIC é limitado ou caro (National Research Council, 2011).

As medidas comportamentais estão entre o conjunto de opções que são essenciais para o avanço das adaptações às Alterações Climáticas. Incentivos governamentais podem desencadear mudanças comportamentais. Por exemplo, para diminuir o escoamento em esgotos e reduzir as inundações, várias cidades dos EUA utilizam programas “Disconnect your Downspout” para convencer os proprietários a redirecionar a água de seu telhado para um tanque de armazenamento ou pequenas áreas úmidas. Esses programas fornecerão informações aos domicílios e alguns oferecerão descontos nos suprimentos. Muitas comunidades pobres e vulneráveis tomaram medidas para se adaptar às mudanças no clima, particularmente naquelas em áreas propensas a inundações. Por exemplo, algumas comunidades locais em Manila estão aumentando o número de andares em casas e construindo pontes improvisadas para conseguirem se locomover em momentos de inundação (Porio, 2011).

Adaptação Institucional: Pode ser subdividida em Econômica; Leis e Regulações; Políticas Governamentais e Programas.

Inúmeras medidas institucionais podem ser usadas para promover a adaptação. Estes vão desde instrumentos econômicos, como impostos, subsídios e acordos de seguro, até políticas e regulamentações sociais. Por exemplo, nos EUA, os fundos pós-desastre para redução de perdas são adicionados a fundos fornecidos para recuperação de desastres e podem ser usados para comprar propriedades que sofreram perdas repetidas de inundação e para realocar para locais mais seguros, elevar estruturas e ajudar as comunidades a adquirir propriedades e alterar os padrões de uso da terra em áreas propensas a inundações, bem como realizar outras atividades destinadas a diminuir os impactos de desastres futuros não apenas na habitação, mas também na produção de alimentos e outros meios de subsistência mais eficazes (FEMA, 2010).

As opções de adaptação institucional incluem o uso de várias ferramentas de planejamento de tomada de decisão e adaptação, incluindo gerenciamento interativo de riscos. Existem várias decisões e paradigmas que podem orientar ações de adaptação. Por exemplo, estruturas institucionais proeminentes usadas para o gerenciamento de áreas costeiras incluem Gerenciamento Integrado da Zona Costeira (em inglês ICZM) e Gerenciamento Adaptativo. Na escala local, a adaptação baseada na comunidade refere-se à geração e implementação de estratégias de adaptação conduzidas localmente através de uma abordagem bottom-up. Abordagens baseadas na comunidade para adaptação também podem ser incorporadas em planos locais ou regionais.

Leis, regulamentações e medidas de planejamento, como áreas protegidas, códigos de construção e zoneamento são medidas institucionais que podem melhorar a segurança de comunidades propensas a riscos ao designar o uso da terra para apoiar a resiliência (Biderman et al., 2008; Bartlett e cols. ., 2009 *apud* IPCC, 2014). O zoneamento pode tanto ser usado para obter locais para populações de baixa renda, quando para expulsá-los de algumas áreas, através do aumento do valor da terra. Portanto, os direitos legais também podem determinar a capacidade adaptativa, bem como o acesso aos recursos.

Um certo número de financiamento e questões financeiras estão ligados às instituições. No nível internacional, os acordos e doadores têm um papel crítico a

desempenhar na promoção e apoio à alocação e fluxo de recursos financeiros (OCDE, 2011).

A governança eficaz é importante para operações eficientes das instituições. Em geral, a governança se baseia na promoção de princípios democráticos e participativos, bem como na garantia de acesso à informação, conhecimento e redes. O fortalecimento institucional e a capacitação têm sido destacados como uma necessidade prioritária nos países em desenvolvimento. Segundo Engle e Lemos (2010), em avaliação sobre as bacias hidrográficas no Brasil, melhorar os mecanismos de governança pode aumentar a capacidade adaptativa.

Porém, em termos de planejamento de adaptação nacional ou local e formulação de políticas, ir além do planejamento de adaptação para a implementação, pode ser um desafio para os governos, em função da escala espacial de implementação dos planos de adaptação (nível nacional, regional, da cidade, do distrito ou da comunidade local) e a grande variedade de opções de adaptação dos planos de ação.

1.4.1.4 Magnitude da adaptação: Medidas estruturais e não-estruturais

De modo geral, na literatura sobre adaptação às alterações climáticas, medidas estruturais e não estruturais referem-se à tecnologia adotada em cada caso, sendo as medidas estruturais baseadas em uma tecnologia mais rígida, no qual são aplicadas soluções voltadas para técnicas de engenharia feita pelo homem. No (UNISDR, 2009) essas medidas são descritas como “ Qualquer construção física para reduzir ou evitar possíveis impactos aos riscos, ou a aplicação de técnicas de engenharia para alcançar resistência ao perigo e resiliência em estruturas ou sistemas”.

Já as medidas não-estruturais, são consideradas uma tecnologia referente a soluções políticas e mudanças de comportamento, no qual o principal protagonista é o aspecto social. Através de políticas locais, regionais, nacionais ou internacionais, ou seja, de diversas escalas, é possível aplicar soluções que tem como objetivo educar, disseminar informação, dentre outros (Brum, 2015). No UNISDR (2009) são descritas como qualquer medida que não envolva construção física, que usa o conhecimento, prática ou acordo para reduzir os riscos e impactos, em particular através de políticas e leis, sensibilização do público, formação e educação (UNISDR, 2009).

Porém, nesta dissertação, medidas estruturais e não-estruturais serão entendidas a partir da sua magnitude e potencial de mudança para a adaptação à alteração climática, partindo do paradigma de que tanto medidas que atuam no espaço físico (como abordagens baseadas na engenharia ou no ecossistema, por exemplo), quanto abordagens de cunho mais social, podem ser extremamente estruturantes do ponto de vista da mudança no âmbito sócio ecológico.

A palavra estrutural é definida no Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa²² como: “Relacionado com o que fundamenta alguma coisa, com a base de algo, e não somente com suas características superficiais”. É exatamente esta a abordagem que se procura aqui: ações não superficiais, ou capazes de fundamentar grandes mudanças.

Poucas fontes na literatura foram encontradas abordando os termos “medidas estruturais e não-estruturais” sobre esta ótica, mas para este trabalho, parece fazer sentido, já que serão abordadas medidas de adaptação às alterações climáticas no âmbito do transporte e da mobilidade urbana, e tanto mudanças na infraestrutura quanto a mudança de leis, regulamentos, e no comportamento dos passageiros podem alterar completamente a forma como as pessoas se locomovem sob riscos climáticos, neste caso, de inundação especificamente.

Neste caso, pode-se considerar uma medida estrutural quando grande parte do sistema ou da população que o utiliza é impactada pela adaptação e não estrutural, quando impacta uma pequena parte. Esta avaliação pode estar relacionada ao nível e as características do risco e as possíveis mudanças futuras nos riscos os quais as medidas de adaptação precisam superar. É portanto uma avaliação qualitativa e subjetiva das opções de adaptação.

1.4.2 Adaptação dos sistemas de transporte

Tradicionalmente, os gestores de infraestrutura e os provedores de serviços aprenderam com experiências passadas como aumentar a resiliência e reduzir os efeitos de eventos climáticos extremos. Em função de chuvas extremas ou tempestades excepcionalmente severas, a reconstrução foi realizada com o objetivo de evitar a recorrência de danos semelhantes. Isso inclui a melhoria das práticas e operações de

²² Acesso em 26 de março de 2019 - <https://www.dicio.com.br/aurelio-2/>

manutenção, bem como a revisão de práticas estabelecidas há muito tempo. No entanto, as alterações climáticas desafiarão a validade desse conhecimento empírico para o futuro e colocará em risco as operações dos sistemas de transporte (EEA, 2014).

A infraestrutura de transporte é construída para enfrentar uma ampla variação das condições meteorológicas. A perspectiva das alterações climáticas significa que certas suposições sobre condições climáticas futuras, feitas no passado podem estar erradas, resultando possivelmente na deterioração prematura ou falha da infraestrutura. Felizmente a vida útil é suficientemente curta para muitos tipos de infraestrutura de transporte (por exemplo, menos de 25 anos) para facilitar a relação custo-benefício de substituição usando projetos melhorados. Em outros casos, como pontes e instalações portuárias, mudanças no clima poderão ocorrer previamente, durante a vida útil esperada, possivelmente forçando a reconstrução com custos elevados, recuperação ou realocação (USDOT, 2002 apud PBMC, 2014).

É cada vez mais urgente reduzir a vulnerabilidade e garantir que os grandes investimentos públicos em infraestrutura de transporte de longa duração não sejam perdidos em vinte anos devido às mudanças nas condições climáticas. Projetar sistemas de transporte sustentáveis significa minimizar os efeitos das Alterações Climáticas buscando adaptação e mitigação paralelamente.

Além da adaptação, os impactos potenciais podem exigir novas apólices de seguros e exigir estratégias de risco de desastre e planos de evacuação aprimorados (Eichhous, 2009). No caso de ocorrência de fortes chuvas, enchentes e inundações, por exemplo, um sistema de transporte eficiente facilitaria a evacuação da população da área afetada, bem como o acesso a prestação de socorro a vítimas de desastres naturais e acidentes. Estes esforços de evacuação e prestação de ajuda no caso de ocorrência de desastres e adaptação à possível mudança futura do clima também fazem parte de uma estratégia para a resiliência dos sistemas de transporte (PBMC, 2014).

Segundo o AR5 (IPCC, 2014), quatro diferentes aspectos das estratégias de adaptação para o transporte podem ser destacados: manter e gerenciar; fortalecer e proteger; aumentar a redundância; e, quando necessário, realocação. De encontro a estas quatro principais estratégias, o PBMC (2014) identifica algumas experiências, como: realocação de estradas e vias, mudanças nos projetos, substituição e adequação de estruturas, como pontes, estradas e pavimentos, de forma a suportar os possíveis

efeitos que as condições meteorológicas e a mudança do clima poderão acarretar para o setor.

Considerando as categorias gerais de adaptação apresentadas anteriormente e aplicando-as ao setor dos transportes, a realocação ou retirada de áreas de alto risco de perigo climático (seja aumento do nível do mar, inundações, deslizamentos de terra ou qualquer outro risco) pode ser uma medida de último recurso, em um contexto de planejamento, a retirada se traduz em evitar desenvolvimentos em áreas de alto risco e pode ser a opção mais barata.

A proteção (ou fortalecimento) da infraestrutura pode incluir tanto medidas duras ou baseadas em engenharia (por exemplo, paredes do mar), como suaves (por exemplo, proteção de mangues para amortecer tempestades – neste caso baseadas na natureza). Medidas protetoras também não se limitam à subida do nível do mar, ou inundações ribeirinhas, mas incluem quaisquer outros meios que ajudem a proteger a infraestrutura de transporte ou mesmo a mobilidade no sentido mais amplo, como espaços verdes ou árvores que fornecem sombreamento, proteção contra o vento ou drenagem adicional.

Considerando que a proteção pode ser vista como medidas “externas”, a acomodação (ou segundo o IPCC, 2014 “manter e gerenciar”) significa adaptar o sistema de transporte ou a própria infraestrutura. A acomodação também inclui medidas duras (principalmente infraestrutura e veículos) e medidas suaves (relativas aos sistemas de transporte como um todo). As medidas rígidas podem alterar padrões de projeto e materiais de construção para resistir a níveis mais altos de inundação ou temperatura ou incluindo ar condicionado em veículos, enquanto medidas suaves poderiam abranger o planejamento de rotas de ônibus de emergência ou até mesmo o fortalecimento das redes de transporte público para aumentar a resiliência geral do sistema (Eichhors, 2009).

As alterações climáticas afetarão a forma como os profissionais de transporte gerenciam sua infraestrutura de transporte multimodal. A falta de integração dos diferentes modos no sistema de transporte constitui uma vulnerabilidade. Portanto, a capacidade de uma região ou cidade se adaptar a suas operações e infraestrutura de transporte vulnerável aos impactos relacionados ao clima vai determinar a capacidade de resiliência do sistema de transporte daquela comunidade (Koch e MacArthur, 2013 *apud* PBMC, 2014). O próprio planejamento urbano, como dito anteriormente, está

intimamente relacionado com o tema. A opção por cidades mais ou menos compactas, a definição da capacidade das vias de circulação para fins de tráfego, bem como, o estudo da localização do traçado, levando-se em conta critérios de drenagem pluvial e áreas de risco, são exemplos de como a inserção da variável climática na estruturação das cidades é imprescindível (INPE, 2010).

A infraestrutura de transporte precisará ser construída e mantida para suportar temperaturas mais altas, piores tempestades, chuvas mais intensas e inundações, assim como níveis mais altos do mar. Os veículos precisarão ser adaptados para funcionarem bem em condições climáticas mais quentes e ainda proporcionar conforto para viagens. O comportamento será afetado principalmente em dias de clima extremo, como ondas de calor, inundações, chuvas intensas, altas velocidades do vento e atividade tempestuosa.

Diferentes grupos de atores estão em condições de atuar nos aspectos distintos da mobilidade urbana:

1. As **autoridades públicas** são responsáveis por fornecer infraestrutura resiliente. Isso inclui principalmente os planejadores de transportes e urbano / espaciais, mas também outros departamentos, como os departamentos de construção e habitação, agências ambientais e de gestão de desastres ou de risco de inundação.

2. Os **prestadores de serviços de transporte** estão encarregados de fornecer veículos adequados para o transporte público, mas os requisitos de veículos / padrões de projeto podem ser formulados pelas prefeituras. Os veículos particulares são fornecidos por empresas privadas e podem exigir mudanças nas configurações ou acessórios dos veículos, como ar-condicionado.

3. Os **usuários** de estrada, de transporte público, ciclista ou pedestre são afetados por impactos climáticos no transporte e farão escolhas individuais ou corporativas. Estas escolhas podem ser influenciadas pelo fornecimento de opções de mobilidade acessíveis, eficientes, confortáveis e seguras, mesmo sob más condições climáticas, e estão, portanto, intimamente ligadas às escolhas políticas (públicas) no projeto, infraestrutura e veículos do sistema de transporte (Eichhors, 2009).

Como a adaptação do transporte urbano de passageiros não pode se limitar a consertos técnicos simples, pois também requer mudanças comportamentais dos usuários de transporte e uma mudança de pensamento nas abordagens de

planejamento, a adaptação deve ser entendida como um processo de aprendizagem social.

A consciência das autoridades municipais de todos os departamentos sobre a relevância local da adaptação é um pré-requisito para uma estratégia de adaptação bem sucedida. Cada departamento do governo de uma cidade precisa considerar os efeitos das alterações climáticas dentro de suas responsabilidades departamentais, por exemplo, separadamente para ferrovias, estradas ou habitação, mas também trabalhando em conjunto para desenvolver uma estratégia eficaz e integrada, como por exemplo para todo o sector dos transportes, estabelecendo um equilíbrio entre o acesso à mobilidade para todos, aumentando a resiliência e limitando as emissões de gases com efeito de estufa.

Além disso, os planejadores de transporte precisam interagir com vários outros atores, incluindo planejadores espaciais ou urbanos, agências de construção ou habitação, agências ambientais e especialistas em alterações climáticas, gestores de risco de inundações e desastres, mas também provedores de transporte, empresas e sociedade civil.

Com base na abordagem desenvolvida pelo Programa de Impactos Climáticos do Reino Unido (UKCIP), Eichhorst e Bongardt (2009) desenvolvem uma abordagem que identifica as principais etapas para uma estratégia de adaptação integrada para o desenvolvimento do transporte urbano. A figura abaixo (Figura 6) ilustra estas etapas e como elas se integram nas principais etapas e tomadas de decisões sobre transporte.

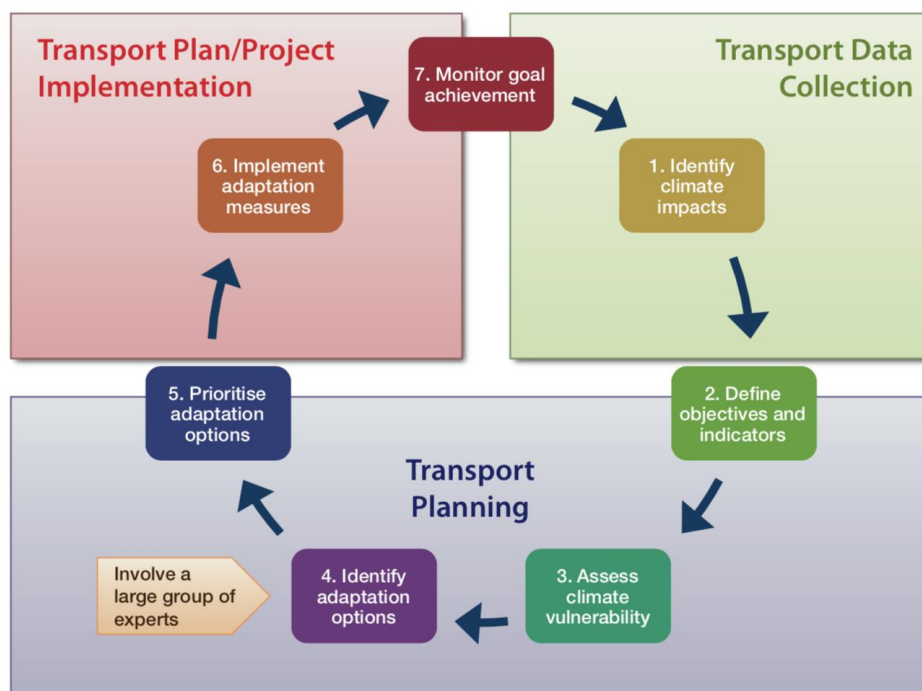


Figura 6 - Quadro para estratégia de adaptação para desenvolvimento do transporte urbano.
Fonte: (Eichhorns, 2009)

Essas etapas podem ser aplicadas igualmente a: (i) Investimentos individuais e decisões de manutenção (por exemplo, novas estradas e meios de transporte público); (ii) Conceitos de mobilidade em áreas urbanas (por exemplo, rotas de transporte público, esquemas de acessibilidade para áreas urbanas selecionadas); (iii) masterplan de transporte abrangentes (com investimentos a médio e longo prazo e implicações políticas); (iv) Resistência das redes e infraestruturas de transporte existentes tanto antes, quanto depois das alterações climáticas.

Etapas 1: Identificar possíveis impactos climáticos

No início de cada processo de planejamento de transporte, o status quo do sistema de transporte é avaliado para identificar os problemas existentes. Dados de transporte, bem como cenários de desenvolvimento econômico e social são coletados para identificar as necessidades de desenvolvimento de transporte. Uma vez que o desenvolvimento dos transportes também deve levar em consideração a sensibilidade potencial às mudanças climáticas, agora também é necessário coletar informações sobre possíveis impactos e vulnerabilidades do clima. Isso também deve abranger grupos de usuários e comunidades afetadas, com um forte foco em grupos com escolhas potencialmente limitadas, como mulheres, crianças, idosos e deficientes. Com base

nisso, os objetivos para o desenvolvimento futuro do transporte urbano são formulados (Etapa 2).

Etapa 2: Definir objetivos e indicadores para sistemas de transporte à prova de clima

Paralelamente à definição dos objetivos do sistema de transporte, os objetivos de adaptação podem ser identificados. Por exemplo, as alterações climáticas podem afetar a estrada planejada, a infraestrutura existente ou a atratividade do transporte público, mas o sistema de transporte deve ser resiliente, por ex. com bom desempenho sob temperaturas mais extremas ou aumento de chuvas.

Com base nos objetivos identificados, é necessário definir critérios operacionais ou indicadores, em relação aos quais possam ser avaliadas diferentes opções de desenvolvimento e adaptação dos transportes. Isso poderia limitar as perturbações do transporte relacionadas às inundações em uma área específica a uma vez por ano ou mantendo os danos relacionados a inundações abaixo de um certo limiar econômico, etc.

Etapa 3: Avaliar a vulnerabilidade e o risco de intervenções relacionadas com os transportes

Após o desenvolvimento de um plano de projeto para uma intervenção relacionada a transporte, a vulnerabilidade do plano deve ser avaliada em relação aos riscos dos impactos climáticos esperados sob diferentes cenários de alterações climáticas, por exemplo. diferentes graus de elevação do nível do mar, usando os dados coletados na Etapa 1.

- Como os riscos esperados afetam os elementos do sistema de transporte existentes ou planejados ou aqueles que dependem deles?

- Quem seria mais afetado por esses impactos?

Nesta fase, as implicações do plano preliminar (e suas alternativas) para as emissões de gases de efeito estufa também devem ser refletidas.

Para explorar as sinergias e construir sobre as estruturas institucionais / processuais existentes, tanto quanto possível, a avaliação de risco climático pode ser integrada ou conduzida em paralelo às Avaliações Ambientais Estratégicas (em inglês AAEs) para planos ou avaliações de impacto ambiental (em inglês EIAs) para projetos de

resistência ao clima. Isso também pode melhorar a relação custo-eficácia da resistência ao clima (ADB, 2005). Um EIA é conduzido após um projeto já ter sido escolhido para implementação, portanto em um estágio bastante avançado e tardio, enquanto a resistência ao clima deve idealmente ser integrada no início do processo de planejamento para informar as decisões; mais semelhante às AAEs.

Etapa 4: Identificar as opções de adaptação

Com base na avaliação de risco do plano de transporte, diferentes opções de adaptação podem ser identificadas:

- Quais são as opções de adaptação adequadas?
- Elas atendem aos critérios de tomada de decisão (Etapa 2)?
- Elas levam em consideração as circunstâncias locais (Etapa 1)?
- Os parceiros certos estão envolvidos na avaliação?

No início, uma ampla gama de opções potenciais deve ser considerada, para não ignorar as opções viáveis. Para poder fazê-lo, um grande grupo de especialistas deve estar envolvido. Especialmente quando a informação de impactos futuros é incerta, medidas que contenham opções de baixa ou nenhuma remorso devem ser identificadas.

Etapa 5: Priorizar alternativas de desenvolvimento de transporte e opções de adaptação

Há uma necessidade de priorizar as opções de adaptação para usar os recursos limitados de forma mais eficaz: Baseado na vulnerabilidade e avaliação de risco na Etapa 3, a longa lista de opções de adaptação do esboço do plano de desenvolvimento e suas alternativas (Etapa 4) pode ser avaliada. . Ao mesmo tempo, a avaliação também pode levar em conta outras implicações de cada opção, como as emissões de CO2 resultantes e a poluição de diferentes opções de desenvolvimento e adaptação e outros objetivos públicos, como a eficácia de custos ou o acesso igual à mobilidade.

A escolha de uma certa solução de transporte em relação a outra pode em si mesma ser uma opção de adaptação, e o desenvolvimento do Bus Rapid Transit em vez do Underground Rapid Transit pode reduzir a vulnerabilidade contra inundações, dependendo das circunstâncias locais.

A priorização das opções de desenvolvimento e adaptação de transporte deve ser um processo de múltiplas partes interessadas. Para as opções de adaptação

priorizadas, os atores-chave para implementar com sucesso as ações de adaptação precisam ser identificados.

Etapa 6: Implementar medidas de desenvolvimento e adaptação dos transportes

A implementação de medidas de adaptação torna-se parte integrante da própria implementação do projeto de transporte. Por exemplo, incluindo requisitos de adaptação em concursos públicos, e. compra de ônibus com janelas coloridas ou ar condicionado, ou construção de novas estradas de acordo com padrões de projeto à prova de clima.

Etapa 7: Monitorar e avaliar o progresso e os impactos climáticos

O monitoramento e a avaliação são importantes não apenas para avaliar o sucesso do sistema de transporte e as medidas de adaptação correspondentes, mas também para revisitar as avaliações de risco (Etapa 3) à medida que novas informações se tornam disponíveis ou como resultados de monitoramento apontam para novos problemas (Etapa 1). Assim, a integração da adaptação em planos e projetos resulta em um processo iterativo.

1.4.2.1 Adaptação das infraestruturas rodoviárias

A Infraestrutura rodoviária, incluindo infraestrutura para transporte não motorizado (ciclovias e passarelas), fornece a base para a maioria da mobilidade pública, privada e comercial nas cidades em desenvolvimento.

As Alterações Climáticas podem aumentar os custos de manutenção e reparação de redes de transporte rodoviário. A adaptação de estradas costeiras, por exemplo, pode exigir o fortalecimento de barreiras e a criação de estradas ou o realinhamento dessas para locais mais altos para lidar com o aumento do nível do mar (IPCC, 2014).

Com base em Eichhorns (2009) e Meyer et. al. (2010) são apresentadas algumas opções de adaptação de rodovias aos impactos das Alterações Climáticas, descritas no quadro abaixo (aqui serão considerados apenas os impactos relacionados à inundação terrestre e costeira – causada pelo aumento do nível do mar). Mas de um modo geral, as adaptações do sistema rodoviários se resumem à:

- Padrões e materiais de projeto mais resilientes para a construção de infraestrutura;
- Sistemas de drenagem aprimorados;
- Manutenção regular de toda a infraestrutura;
- Planejamento urbano que evite áreas de alto risco;
- Minimizar a necessidade de infra-estrutura viária através de planejamento urbano compacto;
- Fornecer redundância suficiente para permitir formas alternativas de passagem, quando ocorre obstrução.

IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS		ADAPTAÇÃO NOS TRANSPORTES
		INFRAESTRUTURA
		RODOVIÁRIA
ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR	Risco de inundação de infraestrutura rodoviária e inundação de túneis subterrâneos em cidades costeiras Degradação da superfície da estrada e camadas de base da penetração do sal	<p>Criar mapas de vulnerabilidade para identificar áreas com maior risco</p> <p>Restringir desenvolvimentos em áreas de alto risco, por ex. ao longo da costa;</p> <p>Integrar o planejamento de transporte com o gerenciamento da zona costeira</p> <p>Melhorar medidas de proteção, como paredes oceânicas, proteção de zonas úmidas costeiras (como buffers)</p> <p>Retirada gerenciada, possivelmente incluindo o abandono de certas infraestruturas de transporte a médio e longo prazo</p> <p>Construir mais redundância no sistema</p> <p>Mudança nos projetos e materiais para materiais mais resistentes à corrosão</p> <p>Melhor drenagem, bombeamento de passagens inferiores</p> <p>Elevar a infraestrutura mais crítica</p> <p>Realocar a infraestrutura</p>

Tabela 2 - Impactos da elevação do nível do mar nas infraestruturas rodoviárias – Adaptado e traduzido pelo autor com base em Eichhorns (2009).

AUMENTO DA PRECIPITAÇÃO - Eventos mais extremos de precipitação, tempestades mais intensas e frequentes e inundações	<p>> A inundação pode afetar todos os modos de transporte. Os riscos são maiores nas planícies de inundação, nas áreas costeiras baixas e onde os drenos urbanos estão sobrecarregados ou inexistentes.</p> <p>> Inundações de estradas e túneis subterrâneos, especialmente onde a drenagem é inadequada</p> <p>> Danos na estrada e diminuição da integridade estrutural devido à erosão, desmoronamentos e aumento dos níveis de umidade do solo.</p>	<p>Melhorar e aumentar a capacidade da infraestrutura de drenagem para lidar com eventos mais intensos de chuvas, e consequentemente com o aumento do escoamento; incluem túneis sob grandes estradas para facilitar a rápida drenagem</p>
	<p>> Estradas de terra e outras estradas com fundações limitadas e pouca ou nenhuma drenagem correm o risco de serem lavadas</p> <p>> O material do subleito sob as estradas ou pavimentos pode ser degradado mais rapidamente, perdendo força e capacidade de carga</p> <p>> Danos ao tecido de infraestrutura, pontes, iluminação pública, sinalização e estações de serviço</p> <p>> Risco de inundação pelo mar durante ventos fortes, especialmente em combinação com marés altas e subida do nível do mar</p> <p>> Obstrução de estradas devido a árvores, edifícios ou veículos caídos devido a fortes ventos</p> <p>> Interrupções e conseqüentes impactos de segurança e socioecon�micos</p>	<p>Criar mapas de inundação para identificar as áreas mais vulneráveis, onde a infraestrutura precisa ser protegida / melhorada / evitada no futuro e avaliar rotas alternativas (isso é vital para os planos de evacuação)</p> <p>Melhorar o bombeamento</p> <p>Tomar as avaliações de risco de inundação uma exigência para todos os novos desenvolvimentos</p> <p>Sistemas de alerta antecipado e planejamento de evacuação para eventos intensos de chuva e inundações</p> <p>Instalar sinais acima do solo que possam alertar pedestres e motoristas sobre zonas não seguras, como zonas de baixa elevação.</p> <p>Restringir desenvolvimentos em áreas de alto risco</p> <p>Melhorar o gerenciamento de planície de inundação / gestão costeira e infra-estrutura de proteção</p> <p>Tomar as avaliações de risco de inundação uma exigência para todos os novos desenvolvimentos</p> <p>Garantir que as pontes e a infraestrutura relacionada sejam resilientes aos níveis esperados de inundação</p> <p>Melhorar fundações</p> <p>Melhorar espaços verdes e proteção contra inundações</p> <p>Melhorar o monitoramento das condições do material de subleito, especialmente após chuvas fortes, inundações</p> <p>Usar materiais mais duráveis, como os com maior resistência a corrosão</p> <p>Avaliar se os padrões de projeto atualmente utilizados podem resistir a tempestades mais freqüentes e intensas</p> <p>Incorporar soluções de design como o aumento da inclinação do pavimento para melhorar a resistência</p> <p>Planejamento de emergência e rotas de evacuação omitindo áreas de alto risco</p> <p>Melhorar a previsão do tempo melhorar a previsibilidade das tempestades, para uma melhor preparação e potencialmente menos danos (sistemas de alerta antecipado, gestão do risco de</p>

Tabela 3 - Impactos do aumento da precipitação nas infraestruturas rodoviárias – Adaptado e traduzido pelo autor com base em (Eichh rs, 2009)

A redundância, ou seja, a construção de alguma capacidade de reposição no sistema, pode reduzir bastante a vulnerabilidade do sistema de transporte, pois se muitas rotas alternativas puderem ser escolhidas, a influência de um impacto na

capacidade do sistema de transporte como um todo, permanece pequena (Transportation Research Board, 2008 *apud* Eichhous, 2009). Isso é particularmente importante em cidades densamente povoadas e em rápido crescimento, onde os sistemas de transporte geralmente já operam em plena capacidade e dificilmente conseguem compensar mudanças inesperadas na demanda, por exemplo, causada pelo redirecionamento do tráfego em caso de inundação parcial.

A redundância deve ser fornecida tanto para modos motorizados como não motorizados, e não diz respeito apenas à construção de infraestrutura, inclui também a prestação de serviços de transporte público adequados. Por exemplo, durante as enchentes em Manila, em setembro de 2009, as vias se tornaram intransitáveis para o tráfego de veículos, e o transporte ferroviário leve (LRT) e o transporte ferroviário metropolitano (MRT) proporcionaram uma alternativa para os passageiros que tentavam chegar em casa. A LRT conseguiu manter as linhas 1 e 2 funcionando de maneira eficiente e sem interrupções. O principal problema encontrado foi o inevitável congestionamento nas estações LRT nas áreas inundadas. Como uma forma de ajuda de emergência para milhares de passageiros, os passageiros eram cobrados por uma tarifa reduzida. Para acomodar o aumento de passageiros, o número de trens aumentou de 9 para 16. A redundância também é, portanto, vital para a gestão do risco de desastres para garantir uma evacuação eficiente.

Algumas das medidas de adaptação têm benefícios para além de aumentar a resiliência da infraestrutura rodoviária. Por exemplo, bons sistemas de drenagem e sistemas naturais de armazenamento de água, como lagos, também podem ser usados para a captação de água da chuva para melhorar a capacidade de armazenamento e a recarga das águas subterrâneas em áreas urbanas, ajudando no gerenciamento de enchentes. Tais conceitos têm grande potencial, já que o estresse hídrico deve aumentar em muitas cidades em desenvolvimento, tanto devido ao desenvolvimento socioeconômico quanto às alterações climáticas. Assim como projetar cidades mais compactas em combinação com bons serviços de transporte público, pode ser uma medida de adaptação, reduzindo a necessidade de infraestrutura rodoviária, além de ajudar a reduzir as emissões relacionadas ao transporte.

No entanto, também existem limites para adaptação. O resultado combinado dos impactos das Alterações Climáticas pode fazer com que certas partes do rede rodoviária precise ser abandonada devido aos custos insustentáveis de manutenção.

Isso será particularmente verdadeiro nos países em desenvolvimento, onde os déficits de financiamento de manutenção já levam a que partes da rede sejam fechadas. Medidas como encorajar o desenvolvimento urbano em locais ambientalmente mais adequados ou adaptar assentamentos para reduzir sua vulnerabilidade têm longos prazos de entrega e, portanto, precisam ser planejadas em tempo hábil. Nas cidades, ainda em processo de urbanização, evitar áreas de alto risco é uma oportunidade. A maioria das infraestruturas urbanas, incluindo o transporte, é imóvel e de longa duração, tornando as mudanças rápidas em locais urbanos existentes muito difíceis e dispendiosas.

1.4.2.2 Adaptação das infraestruturas ferroviárias superficiais e subterrâneas

Os impactos climáticos na infraestrutura ferroviária são em grande parte semelhantes aos da infraestrutura rodoviária. No entanto, algumas características da infraestrutura ferroviária são decisivamente diferentes das redes rodoviárias e merecem atenção especial quando se trata de adaptação:

- Materiais de infraestrutura (por exemplo, ferro);
- Sinalização de equipamentos e circuitos elétricos;
- Infraestrutura subterrânea (túneis).

Os sistemas de transporte subterrâneos podem ter “vulnerabilidades particulares relacionadas a eventos extremos, com respostas de adaptação exclusivamente formadas” (Hunt e Watkiss, 2011, p. 14 *apud* IPCC, 2014). Um exemplo disso é a necessidade de assegurar que os trilhos sejam resilientes a falhas parciais do sistema. Quando uma ou várias linhas são inundadas, a rede de eletricidade para o trilho deve ser projetada de forma a permitir a operação de diferentes linhas ou grupos de linhas independentemente. Caso contrário, inundações ou outros danos a uma linha podem resultar no desligamento completo do sistema e em perturbações em cascata relacionadas à mobilidade e aos custos econômicos.

Os sistemas ferroviários podem ser mais vulneráveis à variabilidade climática do que o sistema rodoviário, que pode redirecionar mais facilmente o tráfego. Para que estes sistemas possam lidar com a variabilidade climática existente são exigidos investimentos consideráveis para suportar temperaturas mais altas e eventos mais

extremos. Custos de atrasos e viagens perdidas devido a eventos climáticos extremos e de danos à infraestrutura e outras propriedades, podem ser bastante significativos.

O fornecimento de infraestruturas ferroviárias fiáveis é, portanto, vital para garantir serviços ferroviários eficientes, contribuindo assim para o apelo ao uso cada vez mais frequente deste tipo de transporte. Algumas ações como a restauração da planície de inundação, o uso de pavimentos porosos e lagoas de retenção podem ser adotadas para ajudar a lidar com o aumento projetado de inundações em alguns lugares (Chang et al., 2010 *apud* IPCC,2014).

Em cidades propensas a inundações, os sistemas de transporte podem exigir padrões de construção mais rigorosos, parâmetros de projeto ou realocação. Grande parte do centro de Mumbai, por exemplo, é construída em áreas de aterros propensas a inundações e contém nestas áreas, as principais estações e linhas de trem, bem como grandes populações e uma grande parte da economia da cidade. O aumento do nível do mar pode causar mudanças no nível abaixo da superfície das áreas de aterros e instabilidades estruturais (de Sherbinin et al., 2007 *apud* IPCC,2014) e por isso as estruturas e fundações precisam de atenção especial, com maior rigor construtivo ou realocação da infraestrutura.

Segundo Eichhorns (2009) as opções de adaptação sistemas ferroviários às inundações estão sintetizadas nos quadros a seguir.

IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS		ADAPTAÇÃO NOS TRANSPORTES
		INFRAESTRUTURA
		FERROVIÁRIA
ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR	Risco de inundação da infraestrutura ferroviária e inundação de túneis subterrâneos nas cidades costeiras	<p>Criar mapas de vulnerabilidade para identificar áreas com maior risco</p> <p>Restringir desenvolvimentos em áreas de alto risco, por ex. ao longo da costa;</p> <p>Integrar o planejamento de transporte com o gerenciamento da zona costeira</p> <p>Melhorar as medidas de proteção, como as paredes oceânicas, a proteção das áreas úmidas costeiras (como buffers), o bombeamento de sistemas subterrâneos</p> <p>Retirada gerenciada, possivelmente incluindo o abandono de certas infraestruturas de transporte a médio e longo prazo</p>

Tabela 4 - Impactos d elevação do nível do mar nas infraestruturas ferroviárias – Adaptado e traduzido pelo autor com base em Eichhorns (2009)

AUMENTO DA PRECIPITAÇÃO - Eventos mais extremos de precipitação, tempestades mais intensas e frequentes e inundações	> A inundação pode afetar todos os modos de transporte. Os riscos são maiores nas planícies de inundação, nas áreas costeiras baixas e onde os drenos urbanos estão sobrecarregados.	Melhorar ou construir infraestrutura de drenagem para lidar com eventos de chuvas mais intensos, aumentando a capacidade de infraestrutura de drenagem para lidar com o aumento do escoamento
	> Aumenta a inundação de linhas ferroviárias e túneis subterrâneos	Criar mapas de inundação para identificar as áreas mais vulneráveis, onde a infraestrutura precisa ser protegida / melhorada / evitada no futuro e avaliar rotas alternativas - para sistemas ferroviários contornando áreas inundadas será mais difícil do que para estradas e operação de perturbação
	> Danos ferroviários e diminuição da integridade estrutural devido a erosão, deslizamentos de terra e aumento dos níveis de umidade do solo	Tomar as avaliações de risco de inundação uma exigência para todos os novos Restringir desenvolvimentos em áreas de alto risco Melhorar o gerenciamento de planície de inundação / gestão costeira e infra-estrutura de proteção
	> Sistemas subterrâneos / túneis podem ser inundados, especialmente onde a drenagem é inadequada	Planos de evacuação de passageiros para sistemas subterrâneos Reforçar o sistema de bombeamento
	> A estabilidade das operações de terraplanagem pode ser afetada pela precipitação intensa devido à acumulação de pressões de água nos poros no solo, especialmente após períodos de tempo quente e seco.	Melhorar o monitoramento de condições de terraplenagem, pontes, etc., especialmente após chuvas fortes, inundações (ou tempestades)
	> O material do subleito sob os trilhos pode ser degradado mais rapidamente, perdendo a fôrça e a capacidade de rolamento	Melhoria da manutenção
	> Maior intemperismo das infraestruturas	Usar materiais mais duráveis, como os com maior resistência a corrosão
	> Danos a estações / tecido de infraestrutura, pontes, sobrev�os, trilhas eletrificadas com cabos �ereos, plataformas de trem, iluminação pública e sinais	Avaliar se os padrões de projeto atualmente utilizados podem resistir a tempestades mais freqüentes e intensas
	> Risco de inundação pelo mar durante ventos fortes, especialmente em combinação com marés altas e aumento do nível do mar	Melhorar a previsão do tempo melhorar a previsibilidade das tempestades, para uma melhor preparação e potencialmente menos danos (sistemas de alerta antecipado, gestão do risco de desastres)
	> Obstrução de estradas ou trilhos devido a árvores, edifícios ou veículos caídos devido a fortes ventos	Cercas de vento para infraestruturas ferroviárias abertas
	> A queda da folha pode ser concentrada, diminuindo a segurança / aderência do trilho	Para linhas �ereas: proteção do disjuntor
	incapacidade de enviar sinais relacionados	
	> Aumento da ocorrência de queda de raios para sinalização ferroviária ou sistemas eletr�nicos	Adaptar o padrão de projeto para equipamentos de sinalização
	> Os relâmpagos interrompem os sistemas de sinalização eletr�nica, por exemplo. contadores de eixos compatibilidade eletromagnética de ferrovias	Planejamento de emergência

Tabela 5 - Impactos do aumento da precipitação nas infraestruturas ferroviárias – Adaptado e traduzido pelo autor com base em Eichh rs (2009)

1.4.2.3 Adaptação nos veículos e comportamento dos motoristas e passageiros

Transporte público

Baseado na premissa de que o transporte público eficiente é um dos principais fatores para a sustentabilidade e resiliência das cidades em função da sua ação mitigadora e de adaptação, esta dissertação busca abordar principalmente as formas de adaptação neste setor específico do sistema de transporte.

O transporte público engloba diferentes meios de transporte: ônibus, micro-ônibus, vans, metrô, trens, bondes e táxis, bem como riquixás ou três rodas. Na maioria das cidades em desenvolvimento, grande parte do transporte público está concentrado em (mini) ônibus, bem como em múltiplas formas de “paratransit”²³, usando infraestrutura rodoviária. No entanto, o transporte ferroviário tem sido cada vez mais desenvolvido em muitas megacidades de crescimento rápido, a exemplo da Ásia (Pequim, Bangcoc, Nova Delhi). Para garantir a sustentabilidade do trânsito ferroviário, sua vulnerabilidade aos impactos climáticos deve ser considerada na fase de planejamento.

É importante ressaltar que o planejamento para o transporte público também deve ser estreitamente integrado ao planejamento da infraestrutura viária (adaptação) para projetar um sistema eficiente e resiliente. O transporte público e o paratransit informal precisam ser resilientes, pois são a única opção de mobilidade motorizada para grande parte das populações das cidades em desenvolvimento, e porque precisam ser atraentes também para aqueles que poderiam pagar a mobilidade motorizada privada, evitando a transferência modal para um transporte mais intensivo em emissões, o que agravaria ainda mais o problema das Alterações Climáticas.

Como os impactos e opções de adaptação para as infraestruturas de transporte (que fazem parte do sistema de transporte público) já foram abordadas nos últimos dois subcapítulos, aqui falaremos apenas das adaptações necessárias nos veículos e no comportamento, tanto dos condutores quanto dos passageiros de transporte público,

²³ Paratransit: termo em inglês utilizado para designar qualquer tipo de transporte público que é distinto do trânsito convencional, com programação/horários e rotas flexíveis. Fonte: wikipedia – acesso em 01 de abril de 2019.

Eventos mais frequentes de condições de condução difíceis devido a condições climáticas adversas podem aumentar os acidentes e os atrasos, resultando em custos econômicos para os operadores e empresas de transportes. Treinar motoristas de transporte público e faixas de ônibus separadas poderiam ajudar a diminuir esses efeitos. Em vez de excluir os operadores informais de paratransit, eles também devem estar ativamente envolvidos em quaisquer atividades de adaptação. O Paratransit desempenha um papel importante em muitas cidades em desenvolvimento, tanto como serviço porta-a-porta quanto como sistema alimentador de redes formais de transporte público, fornecendo serviços de mobilidade para áreas não conectadas ao transporte público formal. Garantir sua resiliência às alterações climáticas é uma característica importante para garantir que o sistema de transporte urbano funcione bem.

O transporte público desempenha um papel fundamental no gerenciamento do risco de desastres e no planejamento da evacuação. Como mencionado acima, devido ao acesso limitado à mobilidade privada dos pobres urbanos, os planos de evacuação para os riscos climáticos (tempestades e inundações) devem fornecer serviços de transporte público suficientes (e gratuitos) para evacuação. Isso inclui designar e treinar motoristas para situações extremas. Também para condições climáticas extremas menos severas, que não exigem evacuação, os operadores de transporte público devem ter planos de contingência em vigor. Isso pode incluir planejamento de contingência para redes ferroviárias subterrâneas ou roteamento de emergência para serviços de ônibus durante eventos de inundação.

Sistemas de alerta e planos de contingência podem obter suporte valioso através da aplicação das TIC para o gerenciamento de transporte. É o caso dos sensores e dispositivos, que fornecem informações em tempo real sobre as condições de tráfego na rede, incluindo a distribuição das velocidades, pesos e dimensões dos veículos. Outros sensores podem fornecer informações, incluindo a presença de obstáculos, temperatura, deformações e outras características da superfície.

Além disso, veículos e usuários poderiam servir cada vez mais como coletores de dados por direito próprio. Isso permitiria que os gerentes de infraestrutura e operadores de transporte ganhassem conhecimento em tempo real sem precedentes sobre as partes do sistema de transporte em que estão interessados. O manuseio desses enormes fluxos de informação requer a implantação de tecnologias de comunicação ligando veículos a outros veículos e à infraestrutura. Enquanto por seus veículos, os

operadores e usuários de transportes podem receber as informações necessárias sobre as condições da infraestrutura e sobre o comportamento de outros veículos, os gerentes de infraestrutura podem obter uma descrição mais detalhada da situação do tráfego de seus usuários e comunicar para eles em conformidade. Essa troca de dados facilita muito o gerenciamento do tráfego (EEA, 2014).

IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS		ADAPTAÇÃO NOS TRANSPORTES	
		TRANSPORTE PÚBLICO	
		VEÍCULOS	PASSAGEIROS
AUMENTO DA PRECIPITAÇÃO - Eventos mais extremos de precipitação, tempestades mais intensas e frequentes e inundações	> Mais eventos com condições de condução difíceis com implicações para segurança, desempenho e operação, ex. restrições de velocidade causando atrasos > Inundação da frota de transporte público, causando prejuízos econômicos	Gerenciar limites de velocidade em condições de mau tempo, por exemplo reduzir a velocidade de corrida dos trens Os condutores de veículos de transporte público devem ser adequadamente treinados para condições climáticas extremas, como chuvas fortes, granizo e vento. Planejamento para rotas de emergência Sistemas de alerta antecipado para evacuar áreas de alto risco Seguro contra inundações Treinamento de motorista Restrições de velocidade Melhorar a previsão do tempo para melhor previsibilidade de tempestades, levando a uma melhor preparação e potencialmente menos danos (sistemas de alerta precoce, gestão de risco de desastres). Planejamento de emergência e identificação de rotas de evacuação omitindo áreas de alto risco	
	> Mais eventos de condições de condução difíceis ou impossibilidade de conduzir, bem como descarrilamentos ou colisões que conduzam a perturbações e consequentes impactos de segurança e socioeconômicos > virada de veículos ou trens		

Tabela 6 - Impactos do aumento da precipitação nos veículos e comportamento dos passageiros – Adaptado e traduzido pelo autor com base em Eichhorns (2009)

Transporte individual não motorizado

Eventos crescentes de condições climáticas adversas, como chuvas fortes, ventos fortes e temperaturas mais altas podem levar a menos passeios a pé e de bicicleta, pelo menos além de um certo tempo de viagem. Isso pode levar a uma mudança para os modos de transporte motorizado, onde estes estão disponíveis e são acessíveis ou podem impedir seriamente a mobilidade geral dos residentes urbanos, que dependem

de caminhadas e ciclismo. Para viagens curtas, por outro lado, pode-se esperar que os impactos do clima extremo sejam bastante baixos. Isso ressalta a importância do desenho urbano sustentável e denso para a mobilidade resiliente.

O planejamento do uso do solo a favor de distâncias curtas pode reduzir a demanda de viagens e, conseqüentemente, a exposição a condições climáticas adversas. Ou seja, um desenho urbano denso, ao mesmo tempo, beneficia o desenvolvimento do transporte sustentável, reduzindo a demanda de viagens e as emissões relacionadas, reduzindo o impacto climático e melhorando a qualidade do ar; e reduz a exposição dos pedestres e ciclistas às intempéries, sendo portanto, uma medida de mitigação e adaptação concomitantemente.

Em regiões frias, o aquecimento das temperaturas pode tornar a caminhada e o ciclismo mais atraentes, mas em regiões quentes, o calor extremo pode tornar a viagem não motorizada muito trabalhosa. Aqui, os espaços verde e azul podem oferecer alívio: as árvores plantadas ao longo de passarelas e ciclovias proporcionam sombra e resfriamento, ao mesmo tempo em que melhoram o microclima, aumentam a atratividade e até atuam como um pequeno sumidouro de carbono. Lagos e rios também têm um efeito de resfriamento no microclima urbano.

As medidas para melhorar a qualidade e a segurança do transporte não motorizado, como ciclovias e passarelas dedicadas e sombreadas, se tornarão ainda mais importantes para manter a atratividade e o conforto do transporte não motorizado, quando as condições climáticas adversas ocorrem com mais frequência. Preservar (ou melhorar) a atratividade do transporte não motorizado é vital para evitar uma transferência modal para um transporte motorizado mais intensivo em emissões, o que agravaria ainda mais as alterações climáticas.

Transporte individual motorizado

Da mesma forma que o transporte não motorizado, respostas comportamentais podem ser esperadas durante condições climáticas adversas. Estudos empíricos apontam para velocidades de tráfego mais lentas durante eventos de chuva, levando a atrasos e interrupções. Os acidentes também se tornam mais prováveis sob condições climáticas adversas, embora a gravidade dos acidentes pareça diminuir durante a precipitação, provavelmente devido à menor velocidade do tráfego.

Consequentemente, a precipitação leva a um aumento no tempo de viagem com os impactos mais graves em rotas já congestionadas e durante os horários de pico. Isto é particularmente relevante para muitas grandes cidades que já sofrem com o congestionamento do tráfego.

A resposta comportamental depende da gravidade da precipitação, da infraestrutura viária e, provavelmente, também do contexto cultural ou do grau em que os motoristas estão acostumados a condições climáticas adversas. Por exemplo, nevascas inesperadas em Pequim, China, em novembro de 2001, levaram ao congestionamento maciço dos transportes, porque os usuários da estrada não estavam preparados para a neve, não estavam acostumados a dirigir sob condições de neve e veículos não estavam equipados com pneus de inverno. Mudar as condições climáticas pode levar a eventos climáticos adversos mais inesperados ou inesperados (para uma determinada região), aumentando o número de dias com congestionamento intenso e acidentes .

Em termos de veículos, com o aumento das temperaturas é muito provável que aumentem a demanda por ar-condicionado em carros e outros veículos e possam exigir adaptações no projeto do motor ou pneus para lidar com temperaturas mais altas.

1.4.3 Conclusões parciais

A busca pela resiliência no contexto das Alterações Climáticas, significa antecipar os seus efeitos e planejar as adaptações necessárias para a redução das vulnerabilidades atuais e futuras. A necessidade de adaptação surge quando os riscos previstos ou os impactos experimentados da mudança do clima exigem ações para garantir a segurança das populações e dos ativos, incluindo os ecossistemas e seus serviços.

As ações de adaptação podem ser de diversos tipos e escalas, devendo atuar diretamente sobre a redução da exposição e nas componentes da vulnerabilidade: sensibilidade e capacidade adaptativa.

Depois de uma revisão da literatura, foram apresentadas neste trabalho, categorias de adaptação em função do tipo, das estratégias, da forma e da magnitude das ações. Essa categorização está resumida no quadro a seguir.

CATEGORIAS DE ADAPTAÇÃO	TIPO	ANTECIPATÓRIO	
		REATIVO	
		AUTÔNOMO	
		PLANEJADO	
	ESTRATÉGIAS	PROTEGER	
		ACOMODAR	
		RECUAR	
	FORMAS	FÍSICA	ENGENHARIA
			TECNOLÓGICA
			BASEADA NO ECOSISTEMA
			SERVIÇOS
		SOCIAL	EDUCACIONAL
			INFORMACIONAL
			COMPORTAMENTAL
		INSTITUCIONAL	ECONÔMICAS
			LEIS E REGULAÇÕES
			POLÍTICAS GOVERNAMENTAIS E
	MAGNITUDE	MEDIDAS ESTRUTURAIS	
		MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS	

Tabela 7 - Resumo da classificação das opções de adaptação utilizadas neste trabalho - Produção do autor

O sistema de transporte de uma cidade, responsável por garantir a acessibilidade da população à todos os outros sistemas urbanos, está no centro da sua resiliência e deve ser também adaptado aos impactos futuros das alterações climáticas.

Com base nas categorias de adaptação apresentadas, quatro diferentes aspectos das estratégias de adaptação podem ser destacados para os transportes: manter e gerenciar; fortalecer e proteger; aumentar a redundância; e, quando necessário, realocação.

Estas estratégias de adaptação dos sistemas de transportes, podem ser aplicadas nas infraestruturas, nas operações, nos veículos e no comportamento dos condutores e passageiros. Neste sentido, vale a pena destacar a importância de ações de adaptação no setor dos transportes públicos, base para a mobilidade urbana sustentável. O

transporte público eficiente, adaptado e resiliente, contribui para a segurança da população, em especial do pobres urbanos, em momentos de desastres, desempenhando um papel fundamental no gerenciamento do risco e no planejamento da evacuação, além de ser uma opção atraente também para aqueles que poderiam pagar a mobilidade motorizada privada, evitando a transferência modal para um transporte mais intensivo em emissões.

As medidas de adaptação podem ser consideradas robustas, flexíveis ou de baixo arrependimento. As robustas poderiam ser aplicadas em qualquer cenário futuro de mudança do clima, mas ainda são caras. As flexíveis poderiam ser ajustadas quando novos conhecimentos sobre os impactos das alterações climáticas estiverem disponíveis e as de baixo arrependimento são justificáveis sob todos os cenários futuros, pois mostram benefícios também em outras áreas (EEA, 2014).

No sector dos transportes, as medidas de baixo arrependimento são tipicamente medidas que aumentam a resiliência dos sistemas de transporte, ao mesmo tempo que proporcionam vantagens adicionais de curto prazo em termos de, entre outras, operações suaves, qualidade de serviços e eficiência. Isso se aplica, por exemplo, a práticas de manutenção corretas para infraestrutura de transporte, integração de sistemas de transporte (fornecendo mais alternativas aos usuários), ou revisão de padrões de projeto já obsoletos ou desenvolvimento de tais padrões, se eles não existirem. A experiência adquirida com a implementação de medidas de baixo arrependimento pode servir como base para começar a projetar e avaliar ações de adaptação mais dispendiosas que possam ser implementadas no futuro.

Apesar de ser um tema ainda bastante novo e pouco presente na agenda de adaptação das cidades, alguns projetos/planos de adaptação no setor dos transportes tem acontecido. Por exemplo, está em curso uma revisão das normas a nível europeu e em alguns países europeus para projetos de transporte. Na Alemanha e no Reino Unido, os padrões ferroviários estão recebendo atenção especial e, no último, alguns parâmetros de projeto foram alterados e estão sendo aplicados agora; A Noruega está realizando uma revisão das diretrizes e manuais de projeto de estradas; e a França está envolvida em uma revisão sistemática ambiciosa dos padrões de infraestrutura de transporte que incluem parâmetros climáticos que podem ser afetados por mudanças no clima. A Finlândia está atualmente considerando empreender revisões semelhantes

de padrões de projeto e diretrizes operacionais como parte de atividades mais amplas destinadas a expandir a base de conhecimento disponível.

Por um lado, a mudança de padrões pode fornecer alguma base para mudanças no design e nas práticas operacionais no curto prazo. Por outro lado, eles mostram o enorme desafio pela frente: uma revisão sistemática do projeto de transporte e práticas operacionais de uma perspectiva de alterações climáticas poderiam afetar um enorme número de padrões (cerca de 100 documentos técnicos, de acordo com a experiência francesa) embora, a longo prazo, seja rentável transitar pelos limites modais tradicionais e proporcionar maior coerência ao sistema de transportes no seu todo.

A inovação tecnológica é outra opção para atender aos requisitos emergentes ligados a mudanças no clima. Isso está acontecendo não apenas no campo dos materiais de construção, com o objetivo de proporcionar uma ampla gama climática de aplicação, mas também no projeto de estruturas inovadoras para a operação de infraestrutura de transportes.

Outra medida alternativa é pensar em estabelecer uma infraestrutura alternativa ou realocá-la. Esta opção vem particularmente em foco quando a infraestrutura precisa ser substituída porque excede sua vida útil ou é substancialmente danificada por um desastre. Nesta situação e também considerando os impactos futuros das alterações climáticas, a questão é se a infraestrutura deve ser reparada, atualizada, realocada ou se os serviços devem ser reorganizados via infraestrutura redundante ou outros modos. Há um equilíbrio para encontrar entre confiabilidade, custos e prestação de serviços.

2 Abordagem Teórico Metodológica

2.1 Seleção de Cidades

A seleção das cidades e das experiências de adaptação para essa dissertação começou na definição do recorte teórico para a pesquisa: megacidades costeiras. Em função da sua maior exposição aos riscos climáticos e a consequente vulnerabilidade às inundações terrestres e costeiras (com o aumento do nível do mar), estas foram as

cidades escolhidas como base de estudo para o entendimento das vulnerabilidades dos sistemas de transporte aos impactos das alterações climáticas.

No universo que compreende as megacidades costeiras do mundo, restringiu-se a seleção a cidades comprometidas com o objetivo da adaptação às Alterações Climáticas. Estas cidades foram identificadas nas principais redes internacionais de compartilhamento de boas práticas de adaptação: ICLEI, C40 e 100 Resilient Cities. As cidades selecionadas deveriam ser membros nas três plataformas pesquisadas.

A seleção ficou ainda mais restrita quando feito um filtro, na plataforma C40, em cidades que tinham projetos e/ou planos cujo tema era adaptação dos sistemas de transporte. Neste momento, poucos foram os resultados encontrados.

A seleção tinha como base para além da sua posição geográfica (cidades costeiras) e do tema da adaptação às alterações climáticas dos sistemas de transporte, critérios como: cidades em diferentes contextos socioeconômicos e a existência dos mesmos modais de transporte público para que pudesse ser feita uma comparação das experiências de adaptação. A escolha de análise especificamente das ações de adaptação nos transportes públicos, vem da revisão bibliográfica que aponta para a importância destes sistemas na segurança da população, principalmente dos pobres urbanos, em situações de desastre e da necessidade da mudança de paradigma para uma mobilidade urbana mais sustentável no futuro. Neste contexto, pretende-se analisar também os sistemas de transporte não motorizados, excluindo apenas os individuais motorizados.

O que pôde se perceber nesta fase da pesquisa empírica, é que o tema da adaptação dos sistemas de transporte ainda é bastante novo e dificilmente se encontra ações direcionadas a este setor. Por este motivo, o critério que pretendia selecionar cidades a partir de seus planos ou projetos de adaptação especificamente no setor dos transportes, foi abandonado e optou-se por escolher qualquer megacidade costeira que sofresse com o problema das inundações e que tivesse estratégias de adaptação para o setor dos transportes (públicos e não motorizados), ainda que estes não fossem abordados em um documento específico, servindo de base para a aplicação do ferramenta criada neste trabalho.

Vale, portanto, ressaltar que na metodologia desta dissertação opta-se primeiramente pela escolha de cidades que sofreram, sofrem ou tendem a sofrer com

o problema das inundações face às alterações climáticas e só então passa-se a analisar como estas lidam com a questão dos transportes em suas agendas de adaptação.

As cidades selecionadas foram Nova York nos Estados Unidos, Jakarta na Indonésia e Rio de Janeiro no Brasil.

2.2 Critérios de Análise

Os critérios de análise para a elaboração da ferramenta de apoio a processos de avaliação, tem por base a revisão da literatura e abordam as questões entendidas como essenciais no processo de adaptação nas cidades, especificamente no setor dos transportes, considerando os eventos de inundação e as alterações climáticas. Esta ferramenta pretende identificar a partir dos critérios de análise, quais decisões foram tomadas em termos de abordagem de adaptação em cada um dos casos, formando uma espécie de referência para tomadores de decisões poderem avaliar quais decisões cabem melhor no contexto de suas cidades.

- **Coerência**

Este critério pretende analisar as opções de adaptação adotadas em cada lugar em coerência com o contexto socioeconômico em que se insere e se estas opções contribuem de forma adequada para minimizar os possíveis impactos aos quais a área está ameaçada. A identificação das ameaças é possível a partir da elaboração de um diagnóstico feito pelo plano/projeto identificando em que zona de risco de inundação ele atuará de acordo com a probabilidade de ocorrência da inundação, e qual o tipo de inundação, se é a terrestre ou costeira. Cada um dos tipos de inundação exigirá ações de adaptação específicas por originarem de diferentes formas, a primeira por chuvas intensas e falha no sistema de drenagem, e a segunda por ondas de tempestade e elevação do nível do mar. Esses pontos devem ser definidos pelos planos/projetos de alguma forma.

- Multiplicidade de ações

Considerando que muitas das opções de adaptação podem e devem ser complementares, este critério tem como finalidade avaliar a multiplicidade das ações de adaptação em um mesmo plano/projeto, considerando o tipo, as estratégias, a forma da adaptação e o objeto de intervenção.

O tipo tem relação com as respostas de adaptação e determina se as ações surgem a partir dos impactos sofridos por um evento climático (reativa) ou se antecedem a eles (antecipatória) e se atuam de forma isolada (autônoma) ou em conjunto (planejada) configurando ou não um plano.

As estratégias e as formas de adaptação combinadas podem determinar a melhor qualidade e eficiência dos planos e projetos criando soluções de adaptação que ao mesmo tempo são capazes de mitigar e adaptar, bem como de criar um sistema mais resistente, além de melhorar a qualidade de vida das populações. Como por exemplo a estratégia de acomodar (ou manutenção e gerenciamento) pode mesclar soluções de engenharia para melhorar a qualidade da infraestrutura, soluções tecnológicas para envio de informação às centrais de gerenciamento, entre outras, que podem estar combinadas com soluções baseadas na natureza para aumentar as áreas permeáveis ao redor da infraestrutura como forma de proteção.

Os objetos de intervenção dizem respeito a quais aspectos do sistema de transporte o plano/projeto propõe a adaptação. Isso inclui a infraestrutura tanto de transporte quanto de drenagem, as operações, os veículos, o comportamento dos condutores e passageiros e o uso do solo. Assim como as estratégias e formas de adaptação, neste caso, quanto mais aspectos do sistema forem alvo de adaptação, mais consistente será o resultado do sistema como um todo.

- Abordagem

Este critério pretende analisar quais as soluções foram adotadas em linhas gerais, se estão baseadas mais na reconstrução em função de

estragos causados na infraestrutura ou veículos em função de eventos extremos, na recuperação buscando o aprimoramento, no abandono em caso de danos irrecuperáveis ou inviabilidade de aprimoramento ou no investimento de planos de evacuação. Também se pretende analisar se as medidas podem estar inseridas em quaisquer cenários climáticos futuros (medidas robustas); se não suportam todos os cenários, mas são flexíveis e passíveis de aprimoramento a medida que novos conhecimentos são adquiridos ou se são de baixo arrependimento, o que significa que não suportam todos os cenários climáticos possíveis, mas em termos de custo benefício, valem a pena ser implantadas. Além disso é importante perceber em termos de abordagem, se o plano ou projeto em questão é especificamente relacionado ao sistemas de transporte e mobilidade ou se é parte de outros planos, o que pode determinar a importância da questão para a cidade de estudo.

- Eficácia

Este critério pretende analisar a magnitude das ações adotadas no modo como as pessoas se locomovem na cidade, se são medidas estruturais ou não estruturais em termos de mudança de comportamento. Esse item é ainda bastante subjetivo em função do pouco ou nenhum tempo de experiência com a implementação das medidas, mas pode ser de alguma forma analisado em função da quantidade de usuários que serão afetados pela medida de adaptação (relação direta com o objeto de interferência: transportes de massa = mais usuários afetados).

Este critério também pretende analisar a eficácia das ações de adaptação sobre a redução da vulnerabilidade apontando a sua atuação nas três componentes: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa.

- Efetividade

O que se pretende com este critério é perceber se as medidas de adaptação já foram implantadas ou estão em processo de implementação, ou se ainda apresentam-se apenas como iniciativas.

Além disso, como análise da efetividade, pretende-se avaliar a continuidade dos planos/projetos, através de monitoramento e revisões.

COERÊNCIA									
CONTEXTO SOCIOECONÔMICO									
PAÍSES DESENVOLVIDOS					PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO				
DIAGNÓSTICO									
ZONA DE RISCO DE INUNDAÇÃO									
TERRESTRE					COSTEIRA				
MULTIPLICIDADE DE AÇÕES									
TIPO									
ANTECIPATÓRIA			REATIVA			AUTÔNOMA		PLANEJADA	
ESTRATÉGIAS									
PROTEGER (OU FORTALECER)			ACOMODAR (OU MANTER E GERENCIAR)			RECUAR (OU REALOCAR)		AUMENTAR A REDUNDÂNCIA	
FORMA									
FÍSICA				SOCIAL			INSTITUCIONAL		
ENGENHARIA	TECNOLÓGICAS	ABE	SERVIÇOS	EDUCACIONAL	INFORMACIONAL	COMPORTAMENTAL	ECONÔMICA	LEIS E REGULAÇÕES	POÍTICAS GOVERNAMENTAIS E PROGRAMAS
OBJETO									
INFRAESTRUTURA			OPERAÇÕES		VEÍCULOS		COMPORTAMENTO		USO DO SOLO
RODOVIÁRIA	FERROVIÁRIA	DRENAGEM							
ABORDAGEM									
SOLUÇÕES									
RECONSTRUÇÃO			RECUPERAÇÃO			ABANDONO		PLANOS DE EVACUAÇÃO	
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO									
ROBUSTA				FLEXÍVEL			DE BAIXO ARREPENDIMENTO		
AGENDA DE ADAPTAÇÃO									
PLANO/PROJETO ESPECIFICAMENTE NO SETOR DE TRANSPORTES						PARTE DE OUTROS PLANOS DE AÇÃO			
EFICÁCIA - Componentes da vulnerabilidade									
MAGNITUDE									
ESTRUTURAIS					NÃO ESTRUTURAIS				
REDUÇÃO DA VULNERABILIDADE									
EXPOSIÇÃO				SENSIBILIDADE			CAPACIDADE ADAPTATIVA		
EFETIVIDADE									
IMPEMENTAÇÃO DAS AÇÕES									
REVISÃO E MONITORAMENTO									

Tabela 8 - Tabela Resumo da ferramenta de apoio à processos de avaliação.

O conjunto de critérios de análise criados a partir das questões chave para a adaptação nos transportes (consideradas e reformuladas com base na revisão da literatura), foram agrupados na tabela resumo apresentada acima, que será aplicada a cada experiência para a sistematização e a criação de um panorama geral das opções adotadas.

3 Experiências analisadas

3.1 Cidade de Nova York

Quando o furacão Sandy atingiu Nova York em 2012, as inundações costeiras impactaram uma estimativa de 90.000 prédios em Nova York, enquanto 2 milhões de pessoas ficaram sem energia, o que causou grandes danos, interrompeu a atividade comercial e custou à cidade mais de US \$ 19 bilhões. O furacão exacerbou os desafios da cidade com infraestrutura inadequada, falta de habitação a preços acessíveis e riscos ambientais existentes. Quando as águas se infiltraram em Manhattan, as estações de metrô foram inundadas e as subestações elétricas submersas, o que afetou serviços essenciais como hospitais; vários dos quais tiveram que ser evacuados.

Apesar de toda a destruição que o furacão Sandy trouxe, o perigo climático serviu como lembrete sobre a vulnerabilidade da cidade - juntamente com a importância econômica de manter Nova York segura. Depois do furacão, o governo da cidade convocou especialistas acadêmicos, o setor privado e agências regionais para fortalecer políticas urbanas e planos para reduzir o risco climático; incluindo impactos do aumento do nível do mar e inundações. Foi criado um painel independente de cientistas chamado New York City Panel on Climate Change (NPCC). Eles lançam projeções sobre como as alterações climáticas podem afetar a cidade de Nova York a cada poucos anos e isso é exigido pela lei local. Com base em conselhos de especialistas, a cidade desenvolveu uma estratégia de resiliência que visa fortalecer a proteção costeira, salvaguardar serviços e infraestruturas críticas, atualizar edifícios para resistir a futuros impactos climáticos e garantir que os bairros estejam seguros e preparados.

Foi lançado então em 2013, após o furacão Sandy, o PlaNYC: A Stronger, More Resilient New York, que documentou as lições aprendidas com Sandy, desenvolveu uma estratégia para a cidade se reconstruir e recomendações para adaptar a cidade aos impactos projetados das alterações climáticas, incluindo a elevação do nível do mar e eventos climáticos extremos.

Em 2015 a cidade lança o OneNYC, The Plan for a Strong and Just City²⁴, que faz uma revisão dos planos anteriores, mantém as principais metas do PlaNYC, que se

²⁴ OneNYC, The Plan for a Strong and Just City – Fonte: <https://www.100resilientcities.org>

concentraram nas questões urgentes de crescimento, sustentabilidade e resiliência, mas inclui a meta da igualdade.

O plano apresenta uma série de iniciativas que pretendem alavancar o crescimento da cidade, torná-la mais justa e equitativa, mais sustentável e mais resiliente. No que diz respeito aos sistemas de transporte, a cidade pretende apoiar o financiamento total do Capital Program 2015-2019 da Autoridade Metropolitana de Transportes (MTA)²⁵, que inclui inúmeros projetos para melhoria e expansão da rede de transportes de massa da cidade, projetos ainda de recuperação de algumas infraestruturas impactadas pelo furacão Sandy, além de medidas para tornar o sistema mais resiliente. Além disso, o plano serve de base para o Plano Estratégico 2016 do Departamento de Transportes da Cidade de Nova York (New York City Department of Transportation - NYCDOT).

A cidade de Nova York tem grandes problemas particularmente com os metrô, em função da idade do sistema, da propriedade fragmentada, da demanda e, em alguns casos, a localização em planícies de inundação, fatores que podem aumentar o desafio da adaptação (Zimmerman e Faris, 2010). As inundações por tempestades causadas pelo furacão Sandy inundaram oito túneis submarinos do metrô, afetando gravemente a mobilidade e a atividade econômica (Blake et al., 2012 apud IPCC, 2014). O sistema de fretes, que conecta os nova-iorquinos a commodities, como alimentos e combustíveis, de áreas da região por via aérea, ferroviária, marítima e rodoviária também é particularmente vulnerável pois além das operações do dia-a-dia, serve como uma rede necessária na resposta de emergência durante desastres naturais e provocados pelo homem.

As iniciativas para aumento da resiliência da cidade tem, entre outros, foco na adaptação das infraestruturas, incluindo a de transportes.

Iniciativa 1 - Adaptar os sistemas de infraestrutura da região

Trabalhando com outros parceiros regionais, a cidade investirá na resiliência de sua infraestrutura de transporte, incluindo balsas, túneis, pontes móveis, sinais de trânsito e ruas, através da elevação ou impermeabilização de instalações e sistemas, o

²⁵ Programa da Autoridade Metropolitana de Transportes (MTA), com revisão de 5 em 5 anos, que apresenta as estratégias, medidas e projetos para o sistema de transportes da cidade de Nova York. Fonte: <http://web.mta.info/capital/pdf>

endurecimento de conduítes, reforçar a continuidade do planejamento das operações e estratégias de mitigação, tais como o endurecimento das ruas e infraestrutura verde para a gestão de águas pluviais.

A cidade trabalhará também para garantir a resiliência da rede de fretes frente às alterações climáticas, fortalecendo portos, ferrovias, áreas de armazenamento e armazéns. A cidade está realizando exercícios de planejamento para identificar vulnerabilidades na rede de carga, melhorar a redundância e fornecer estratégias de resiliência para infraestrutura em risco por meio de parcerias com agências municipais e o setor privado.

A capacidade da cidade para funcionar durante um desastre depende de uma infraestrutura de tecnologia da informação resiliente que mantém os aplicativos das operações críticas em execução, os dados acessíveis e seguros e as redes de telecomunicações em funcionamento. A cidade o fará preenchendo seu data center de backup com replicação e backup de aplicativos críticos, e incorporará esse data center na continuidade dos planos de operações das agências da cidade. Ele também continuará fortalecendo os ativos de rede e infraestrutura para resistir a quedas de energia relacionadas a tempestades e interrupções na rede elétrica, além de fortalecer o apoio da cidade a operações de missão crítica para socorristas e serviços essenciais da Prefeitura.

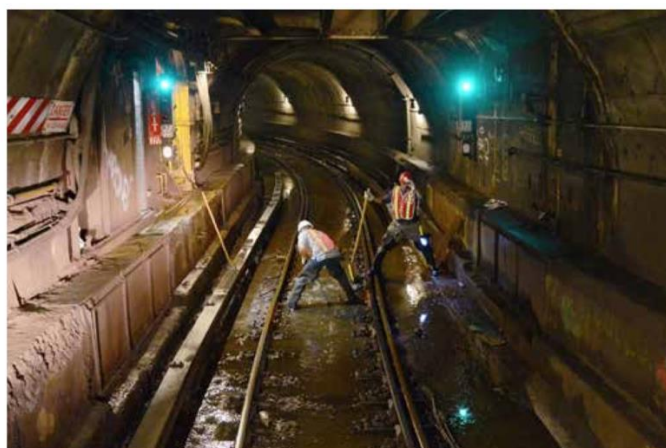


Figura 7 - Trabalhadores da MTA limpando um dreno entupido na estação de metrô de Cortland Street para prevenir inundações durante chuvas intensas

Iniciativa 2 - Adotar políticas para apoiar a adaptação de infraestrutura

A cidade usará a melhor ciência climática disponível, além de pesquisa robusta, ação legislativa, defesa de direitos e coordenação regional para adaptar a infraestrutura

da cidade a fim de resistir a interrupções. Planeja-se padronizar o processo, desenvolvendo e implementando um conjunto de diretrizes de projeto para resiliência, a fim de garantir que o é construído esteja de acordo com os mais altos padrões de desempenho. Pretende-se que todas as agências da cidade de Nova York adotem diretrizes padronizadas de projeto de resiliência para ruas, transportes, espaços públicos, serviços públicos e outras infraestruturas.

A cidade pedirá aos provedores e operadores de infraestrutura regional, como MTA, entre outros, para realizar investimentos críticos em resiliência em seus sistemas, coordenados pela Força Tarefa de Adaptação às Mudanças Climáticas.

O plano também pretende explorar, com os parceiros acadêmicos e estaduais, a preparação de um Programa Regional de Avaliação de Resiliência com o Departamento de Segurança Interna dos EUA sobre a resiliência da cadeia crítica de fornecimento da cidade para commodities como alimentos, combustíveis, materiais e bens de consumo.

Além das iniciativas para adaptação das infraestruturas, o plano prevê medidas de proteção da orla costeira, que beneficiam também a segurança das infraestruturas impedindo ou evitando a entrada da água. O primeiro Plano de Proteção Costeira foi elaborado no PlaNYC e continua a ser desenvolvido no OneNYC. As formas de adaptação através da proteção costeira incluem ações tanto com base na engenharia (diques, sea walls, entre outros) quanto na natureza através de dunas costeiras, parques entre outros. O Plano de Proteção Costeira pode ser visto no ANEXO I.

Apesar do plano apresentar estratégias de adaptação claramente direcionadas aos sistemas de transporte, destacando a importância do tema na busca pela resiliência, as medidas efetivas para adaptação no setor ficam a cargo do MTA Capital Program para os transportes de massa; do Plano Estratégico do Departamento de Transportes da Cidade de Nova York para o sistema de trânsito, ruas e ciclovias; e de projetos como os apresentados no âmbito do concurso Rebuild By Design, 2014²⁶. Como a prioridade nesta tese é avaliar as opções de adaptação principalmente dos transportes públicos, passamos a analisar o MTA Capital Program.

²⁶ Reconstruir by Design começou como uma competição de design, lançado pelo Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano dos EUA (HUD), em parceria com organizações sem fins lucrativos e do setor filantrópico, em resposta ao impacto devastador do furacão Sandy no leste dos EUA. Fonte: <http://www.rebuildbydesign.org>

3.1.1 MAT Capital Program 2015-2019

O MTA Capital Program é um plano que engloba US \$ 33,2 bilhões em investimentos que renovam, aprimoram e expandem a rede de transportes de Nova York. O plano é revisado a cada 5 anos e novos investimentos em novos projetos são refeitos a partir do monitoramento e da demanda.

Os principais objetivos do plano são:

- Renovar: A prioridade é garantir a segurança, confiabilidade e qualidade dos serviços existentes, o que significa substituir trens, ônibus e vagões do metrô e renovar pistas, sinais, pátios, depósitos, pontes e estações;
- Aprimorar: Fazer melhorias nos serviços, como pontos de ajuda, acessibilidade e no sistema de informação sobre as operações.
- Expandir: Expandir o alcance do MTA, por meio de projetos de novas linhas de metrô, entre outros, para diminuir o congestionamento das linhas, acomodar e proporcionar o crescimento, oferecendo um serviço mais amplo e resiliente.

O plano é uma medida de adaptação autônoma, pois atua especificamente em um único setor, o dos transportes e especificamente sobre as infraestruturas, operações e veículos e contam com parcerias público-privadas para a construção e financiamento dos projetos.

A estratégia principal do plano é manter e gerenciar suas infraestruturas, com ações que pretendem aumentar a segurança e a confiabilidade e podem aumentar significativamente a resiliência do sistema. A criação do Positive Train Control (PTC), um sistema de última geração para monitoramento e controle de trens urbanos melhora drasticamente a segurança. Assim como o aprimoramento do sistema de câmera instalado nos ônibus, com detecção de intrusão na pista que cria um alerta automaticamente às equipes de treinamento ou o Centro de controle de trilhos, caso algo substancial caia nos trilhos. Apesar de não aparecer explicitamente no plano, este sistema poderia ajudar a identificar vias inundadas e enviar esta informação às centrais de controle.

As soluções de adaptação são baseadas principalmente na reconstrução, recuperação e aumento da redundância, com ações que assumem principalmente a

forma: física, utilizando técnicas de engenharia, inovações tecnológicas e serviços; e social, investindo na informação. Em linhas gerais, as ações variam desde protocolos de emergência até a fortificação de túneis e a elevação permanente de instalações elétricas expostas a inundações e sistemas de sinalização. Alguns projetos usam prevenção de inundação como registros de parada; outros envolvem equipamentos customizados ou desenvolvidos recentemente. A maioria das adaptações climáticas do MTA estão integradas nos projetos de reparo pós-Sandy.

O MTA Capital Program não é um plano exclusivamente sobre adaptação às alterações climáticas, mas seus projetos incluem medidas de adaptação buscando a resiliência do sistema. As ações de adaptação são coordenadas por uma Força Tarefa de Adaptação do Clima (MTA Climate Adaptation Task Force) criada logo após o Furacão Sandy e podem ser vistas com maior detalhe no relatório “*MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report*”²⁷. Este relatório oferece uma visão ampla das ações climáticas do MTA até o momento, bem como uma visão mais detalhada de projetos de resiliência selecionados. Alguns deles serão apresentados a seguir.

Operações de Emergência: A Hora Zero

A primeira linha de defesa da MTA contra eventos climáticos cada vez mais voláteis é o planejamento prévio e a preparação das forças de trabalho das agências. A MTA desenvolve e aprimora continuamente os planos de emergência e aprimora as habilidades dos funcionários ao conduzir regularmente treinamentos e exercícios de planejamento de emergência.

Em termos de gerenciamento das operações em caso de emergência, cada agência operacional da MTA mantém planos de resposta a emergências que são específicos para cada tipo de evento climático. Protocolos, prioridades de resposta, bem como estratégias de comunicação, são identificadas para garantir que os sistemas de resposta a emergências estejam em vigor e que informações vitais sejam compartilhadas dentro da organização e com o público. Esses planos são atualizados anualmente; revisado após exercícios e eventos reais; e continuamente revisado para refletir novos conhecimentos e lições aprendidas.

²⁷ Fonte: <http://web.mta.info/ResiliencyReport>

O MTA inclui protocolos de continuidade e sucessão em seus planos de emergência. Estes incluem cenários “e se” para a perda de serviços críticos, linhas de comunicação, ou infraestrutura, bem como uma “ordem de sucessão” no caso de o pessoal-chave estar incapacitado.

Como a maioria dos serviços ferroviários da MTA são alimentados eletricamente em linhas fixas e operam sob o subsolo e sob os leitos dos rios, eles são suscetíveis a quedas de energia e inundação de túneis. Portanto, a frota de ônibus MTA desempenha um papel especial em operações de emergência, incluindo eventos climáticos. A frota de ônibus, a maior da América do Norte, possui mais de 5.700 veículos em mais de 300 rotas, atendendo a cerca de 2,5 milhões de clientes diariamente. A capacidade dos ônibus de implantar de forma rápida e flexível em todas as principais vias públicas torna-os um componente-chave do planejamento de resiliência do MTA. Operações de ônibus de emergência podem incluir evacuações de zonas de inundação, transporte para trabalhadores de emergência, operações de transporte durante interrupções do sistema ferroviário, entre outros.

O uso mais extensivo de ônibus para resiliência das operações seguiram com o Sandy em 2012, quando o desligamento de todos os túneis sob o rio interrompeu o serviço de metrô. Enquanto muitos segmentos alagados do sistema de metrô permaneceram fechados, o serviço de ônibus foi restaurado em grande parte dentro de 24 horas. Coordenando-se com o Departamento de Transporte de Nova York (NYCDOT), a MTA estabeleceu um sistema sem precedentes de “Pontes de Ônibus” para substituir o serviço de metrô em todo o East River. Cerca de 650 ônibus executaram rotas livres de tarifas pelas pontes de Manhattan e Williamsburg, utilizando as faixas de prioridade de ônibus improvisadas e “trânsito rápido” estabelecidas. Essas operações de transporte de emergência agora fazem parte do planejamento de resiliência do MTA.

Projetos de adaptação para a infraestrutura

Para o sistema de metrô - MTA New York City Transit (NYCT) Subways – e a ferrovia Staten Island Railway, as principais medidas de adaptação nos diferentes projetos podem ser identificadas como:

- Instalação de bombas capazes de remover mais de 1.900 galões de água por minuto;

- Cobertura/ Vedação das entradas das estações de metrô, contra inundações;
- Elevação de equipamentos e instalações, como sala de controle da bomba de emergência, salas de sinalização, baterias e geradores. Deverão ser instaladas em plataformas ou locais de maiores altitudes acima da elevação da inundação do projeto de NYCT.
- Instalação de alarmes de emergência e telefones;
- Construção de 'duct banks' que protegem o cabeamento de energia;

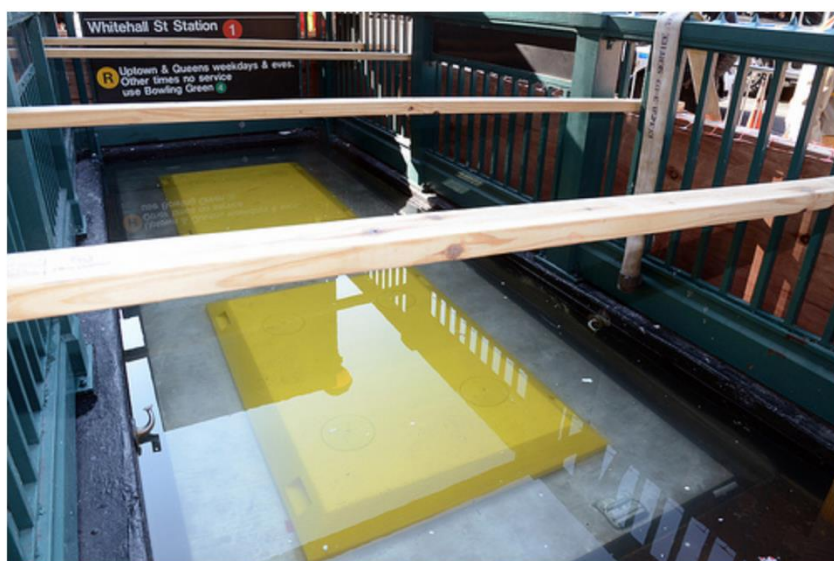


Figura 8 - Cobertura removível nas entradas das estações de metrô – Fonte: <http://web.mta.info> – acesso em fevereiro de 2019.

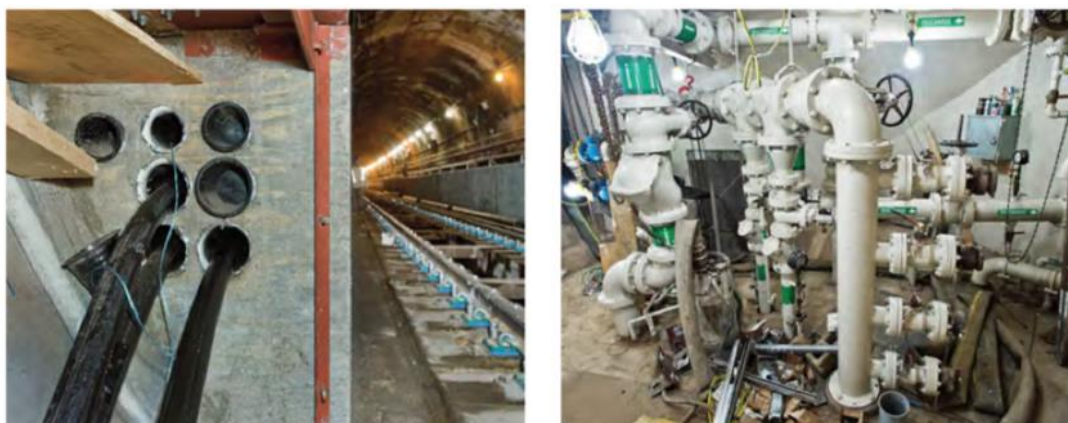


Figura 9 - Novos cabos que passam pelos duct banks e nova sala de bombas no projeto de recuperação e adaptação do Montague Tube – túnel submerso para metrô da linha R – Fonte: MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report

- Portal de vedações contra tempestades de Categoria 2 com um fator de segurança adicional de 3 pés, como é o caso do projeto 148th Street Portal, onde a linha de metrô

nº 3 surge para o terminal acima do solo. Para garantir a proteção a longo prazo, toras de alumínio com juntas de borracha podem ser colocadas em canais pré-instalados e postos de suporte ao longo do perímetro do portal. O sistema pode ser implantado dentro de poucas horas e protegerá o portal de um furacão. É uma solução de adaptação que substitui uma solução antiga e não mais eficiente frente aos novos desafios climáticos, onde o portal era tampado com uma estrutura de madeira.



Figura 10 - Preparação da tempestade pré-Sandy, inundações durante o Sandy, condição atual no portal da rua 148 com projeto de medidas de proteção contra inundações – Fonte: MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report

- Em alguns casos, a construção de muros em torno das estações terminais, como é o caso da St. George para protegê-lo de futuros eventos de inundação.
- Em locais onde o lençol freático é alto e existe maior umidade, os laços de madeira padrão dos trilhos, foram substituídos por laços de plástico reciclados, que não apodrecem com tanta facilidade;



Figura 11 - Materiais reciclados para os trilhos na Estação Terminal St George e restauração Post Sandy. Fonte - Fonte: MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report

- Construção de uma parede do tipo estacas-pranchas ao longo da Rockaway Line, uma linha de metrô NYCT acima do solo exposta a tempestades e inundações em função da sua localização próxima ao canal Broad. A muralha fortalece a Linha Rockaway contra impactos e desníveis de ondas, além de estabilizar o aterro.



Figura 12 - Rockaway Line restaurada em 2013 - Fonte: MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report

Para os sistemas ônibus das Companhias de ônibus MTA e ônibus da New York City Transit (NYCT), as operações são menos suscetíveis a inundação, sendo a maior preocupação os depósitos dos veículos. Alguns depósitos estão em zonas de inundação e sofreram com os impactos do Sandy, tornando-os inoperáveis, o que causou interrupção no sistema. Às medidas de recuperação foram adicionadas medidas de adaptação como:

- Contratação de novos geradores de emergência e equipamentos de bombeamento de alta capacidade;
- Utilização de materiais resistentes a água;
- Paredes externas mais resistentes;
- Sala de distribuição elétrica realocada para níveis mais altos;
- Proteção aérea dos ônibus estacionados;
- instalação de uma porta de vaivém ou parede flexível como é o caso do Michael J. Quill Depot, que fornece serviço de ônibus para Manhattan, localizado em uma das áreas de maior risco de inundação;



Figura 13 - Parede flexível instalado no depósito de ônibus Michel J. Quill – Fonte: MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report

Para a Estrada de Ferro MTA Long Island (LIRR), localizada na zona costeira e portanto muito exposta às inundações e tempestades, com problemas relacionados à corrosão por água salgada, entre outros, as principais ações de adaptação incluem:

- A substituição completa de subestações de energia danificadas pelo furacão Sandy e redesenho de outras para elevações acima dos níveis de inundação, com fundações elevadas, espaços de equipamento interior totalmente fechados e abóbadas de cabos à prova de água;
- Instalação de plataformas de aço elevadas para proteger a sinalização crítica e o equipamento de comunicações de futuras inundação / tempestade;
- Instalação de novo sistema de sinalização, que incorpora recursos aprimorados, incluindo tecnologia de microprocessador junto com o controle de velocidade bidirecional em ambas as esteiras o que proporcionará maior flexibilidade operacional e recuperação mais rápida durante as interrupções do serviço.
- Substituição de cabos, máquinas de comutação e outras infraestruturas do sistema.

Para o MTA Metro-North Railroad (Metro-Norte), entre outras ações, destacam-se:

- Aumento das elevações dos pisos de algumas subestações, como as redesenhadas para Hudson Line para um conservador 4 pés acima níveis de inundação projetados.
- Construção de novos sistemas de portas e impermeabilização externa em subestações recondiçionadas para proteção contra danos futuros causados por inundações ao equipamento de energia.
- Elevação do local do disjuntor para mitigar futuras inundações.

Para o MTA Bridge and Tunnels:

- Reparação e elevação de sistemas de iluminação.
- Mitigação de inundações em larga escala, incluindo barreiras de inundação implantáveis em portais de túneis e muros de contenção fortificados ao redor de praças com barreiras implantáveis para fechar perímetros de praças protegidas;
- Substituição e realocação de subestações e geradores de emergência acima do nível de inundação de 500 anos determinado pela FEMA
- Instalação de painéis de inundação de alumínio em edifícios de serviço e salas elétricas.



Figura 14 - Barreira inflável contra inundação no Hugh L. Carey Tunnel (HLCT) – Fonte: MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report

O MTA Capital Program, mostra como a cidade de Nova York tem conseguido efetivar as estratégias delineadas no plano geral para a cidade (OneNYC) transformando-as em ações. Essa é uma dificuldade para muitas outras cidades que não conseguem passar da fase de planejamento das ações de adaptação, muitas vezes por terem que lidar com problemas básicos como a falta de saneamento e habitação, entre tantos outros tão urgentes, que a questão da adaptação ainda parece distante.

A tabela 9 apresenta de forma resumida as medias de adaptação adotadas pelo MTA Capital Program. Com base nas análises do plano é possível perceber que as ações propostas são absolutamente estruturais no sentido de que milhões de pessoas serão afetadas por elas e reduz significativamente a vulnerabilidade do sistema e da população através da redução da sensibilidade e aumento da capacidade adaptativa. Além disso, ao aumentar as opções de transporte de massa através de expansões e reduzir de forma significativa as emissões de veículos e instalações, o MTA mitiga continuamente os aceleradores locais das alterações climáticas.

O plano propõe múltiplas ações, que atuam sobre diversos objetos que fazem parte do sistema de transporte e pode ser considerado, portanto, uma estratégia de adaptação robusta e flexível, com propostas capazes de enfrentar diversos cenários de alterações climáticas, deixando ainda oportunidade para aprimoramento futuro.

A multiplicidade de ações adotadas pelo plano e o fato de já terem sido implementadas e revisadas, parece ser coerente com o contexto socioeconômico em que se insere a cidade de Nova York. Com maior disponibilidade de capital e tecnologia, maiores parecem ser os investimentos em pesquisas para conhecimentos dos riscos e estratégias de adaptação para proteger o território.

COERÊNCIA									
CONTEXTO SOCIOECONÔMICO									
PAÍSES DESENVOLVIDOS					PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO				
X									
DIAGNÓSTICO									
ZONA DE RISCO DE INUNDAÇÃO									
X									
TERRESTRE					COSTEIRA				
X					X				
MULTIPLICIDADE DE AÇÕES									
TIPO									
ANTECIPATÓRIA			REATIVA			AUTÔNOMA			PLANEJADA
X			X			X			
ESTRATÉGIAS									
PROTEGER (OU FORTALECER)			ACOMODAR (OU MANTER E GERENCIAR)			RECUAR (OU REALOCAR)			AUMENTAR A REDUNDÂNCIA
			X						X
FORMA									
FÍSICA				SOCIAL			INSTITUCIONAL		
ENGENHARIA	TECNOLÓGICAS	ABE	SERVIÇOS	EDUCACIONAL	INFORMACIONAL	COMPORTAMENTAL	ECONÔMICA	LEIS E REGULAÇÕES	POLÍTICAS GOVERNAMENTAIS E PROGRAMAS
X	X		X		X				
OBJETO									
INFRAESTRUTURA			OPERAÇÕES		VEÍCULOS		COMPORTAMENTO		USO DO SOLO
RODOVIÁRIA	FERROVIÁRIA	DRENAGEM							
X	X	X	X		X		X		
ABORDAGEM									
SOLUÇÕES									
RECONSTRUÇÃO			RECUPERAÇÃO			ABANDONO			PLANOS DE EVACUAÇÃO
X			X						X
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO									
ROBUSTA				FLEXÍVEL			DE BAIXO ARREPENDIMENTO		
X				X					
AGENDA DE ADAPTAÇÃO									
PLANO/PROJETO ESPECIFICAMENTE NO SETOR DE TRANSPORTES						PARTE DE OUTROS PLANOS DE AÇÃO			
X									
EFICÁCIA - Componentes da vulnerabilidade									
MAGNITUDE									
ESTRUTURAIS					NÃO ESTRUTURAIS				
X									
REDUÇÃO DA VULNERABILIDADE									
EXPOSIÇÃO				SENSIBILIDADE			CAPACIDADE ADAPTATIVA		
				X			X		
EFETIVIDADE									
IMPEMENTAÇÃO DAS AÇÕES									
X									
REVISÃO E MONITORAMENTO									
X									

Tabela 9 – Tabela com a sistematização das opções de adaptação adotadas no MTA Capital Program de Nova York

3.2 Jakarta, Indonésia

Os 10 milhões de habitantes da área metropolitana de Jakarta estão acostumados a inundações na estação chuvosa. A sedimentação e o acúmulo de resíduos, combinados com as altas descargas do rio, criam ocasionais enchentes nos 13 rios e canais que fluem através do delta urbano de baixa altitude. As enchentes de rua causadas por fortes chuvas são um evento mais comum, já que a cidade luta para manter o sistema de drenagem urbano no ritmo da urbanização. No entanto, em novembro de 2007, o norte de Jakarta foi atingido por uma inundação costeira, fruto de uma maré alta que superou a parede de proteção do mar em vários locais. A água do mar inundou as ruas, que ficaram submersas por vários dias, o que causou um dano estimado de US \$ 544 milhões, a morte de 76 pessoas e mais de 590.000 refugiados.

Essa inundação do mar confirmou o que alguns estudos já haviam alertado: o norte de Jakarta está diminuindo a uma velocidade impressionante de 7,5 centímetros por ano, em média. Em algumas partes, as taxas de subsidência chegam a 17% ao ano. Grandes partes da cidade, incluindo as defesas costeiras, estão afundando cada vez mais abaixo do nível do mar, principalmente em função das extrações de águas subterrâneas em grande escala. Em 2008, o muro oceânico existente foi reforçado, mas devido ao afundamento, este paredão já está em um nível criticamente baixo.

A Indonésia tem trabalhado em conjunto com os Países Baixos para reduzir e prevenir as inundações e Jakarta. Essa colaboração resultou na Estratégia de Defesa Costeira de Jakarta (em inglês JCDS) em 2011 e no projeto de Desenvolvimento Costeiro Integrado de Capital Nacional (em inglês NCICD), que será analisado a seguir.

Há não muito tempo, Jakarta se tornou parte do grupo 100 Resilient Cities e tem trabalhado em uma estratégia de adaptação e resiliência para a cidade, mas até o momento, o único avanço neste sentido foi um rascunho da estratégia, lançado recentemente e não será, portanto, objeto de análise nesta dissertação.

3.2.1 Master Plan - National Capital Integrated Coastal Development 2014 (NCICD)

O Plano Diretor para o Desenvolvimento Costeiro Integrado da Capital Nacional, Jakarta, visa fornecer uma solução para a proteção a longo prazo da Grande Jakarta

contra inundações do mar e rios na área costeira e, ao mesmo tempo, facilitar o desenvolvimento socioeconômico.

Os estudos realizados pelo JCDS e que serviram de base para o NCICD, apontam que o fortalecimento dos paredões existentes e o aprimoramento da capacidade de bombeamento de drenagem não podem mais fornecer proteção suficiente a longo prazo. Além disso, o espaço em Jakarta é muito limitado para criar as grandes bacias de armazenamento necessárias.

O Plano Diretor se concentra na concepção e funcionamento das soluções de risco de inundação incorporadas em um projeto integral para o desenvolvimento urbano socioeconômico. Os projetos incluem as defesas marítimas e o desenvolvimento da cidade em direção ao mar. Este Plano Diretor lida especificamente com as inundações costeiras, deixando fora do escopo do plano as inundações urbanas causadas por fortes chuvas ou enchentes pluviais.

O plano centra-se na zona costeira da Baía de Jakarta e abrange o território das províncias de Jakarta, Banten e Java Ocidental e apresenta medidas projetadas para serem capazes de lidar com condições até 2080, através de projetos conceituais para três fases: a fase A compreende as defesas marítimas existentes, a fase B, a parede do mar externa e a recuperação de terras, e a fase C, o desenvolvimento a longo prazo no leste da Baía de Jakarta. O estágio C só foi trabalhado em desenhos de esboços, já que esse desenvolvimento está no futuro e contém muitas incertezas.

As inundações são a principal razão por trás do desenvolvimento do plano visto que a cidade sofre atualmente com três tipos de inundações. O primeiro tipo é o resultado do armazenamento insuficiente de água, o que faz com que as fortes chuvas sobrecarreguem os drenos inadequados. Como o excesso de chuvas na cidade flui para a zona costeira de baixa altitude, esta área é especialmente vulnerável a este tipo de inundações. Um segundo tipo de inundação vem de rios ou canais, como resultado de altas descargas a montante. Em muitos lugares, a capacidade do sistema de água não consegue lidar com as demandas de pico. Diques fluviais em muitos lugares não são altos ou fortes o suficiente e rios, córregos e bombas ficam entupidos com sedimentos e lixo. Como resultado, os rios transbordam. Já o terceiro tipo de inundação vem do mar quando os diques do mar e diques do rio na área costeira não são altos ou fortes o suficiente. Quando o mar está no auge, esses diques transbordam e a água do mar inunda a cidade como aconteceu em 2007.

O crescimento rápido e não planejado da cidade aumenta os desafios urbanos e torna mais difícil a adaptação para enfrentar as questões das alterações climáticas, como na maioria das cidades em países em desenvolvimento.

Jakarta cresceu muito além de suas fronteiras administrativas e especialmente no que diz respeito ao funcionamento da cidade, os limites estão sendo superados. O sistema rodoviário da cidade é às vezes paralisado pelo tráfego intenso e o tempo de viagem para os passageiros está se alongando devido à distância e, principalmente, devido ao tráfego pesado. Não só o crescimento em números, mas também um aumento na posse de carros leva a mais carros na estrada. No período de 2002 a 2010, a posse de carros aumentou de 17 para 25%, e a posse de motocicletas aumentou de 34 para 72%.

A infraestrutura rodoviária e especialmente a infraestrutura de transporte público não acompanharam o crescimento da cidade e isso está colocando uma séria pressão sobre o crescimento econômico de Jakarta. Por exemplo, vários links no sistema de vias circulares estão faltando e o projeto MRT²⁸ ainda não foi concluído. O tráfego em condições normais é ruim, quando as inundações ocorrem, a situação fica ainda pior.

O plano pode ser considerado uma adaptação reativa, pois parte de um evento climático extremo (inundações costeiras de 2007) e de situações recorrentes de inundações terrestres, além de englobar diversos setores urbanos, podendo ser considerada também uma adaptação planejada. O plano aposta em soluções de curto prazo e baixo arrependimento como o reforço das defesas marítimas atuais, para evitar estragos ainda maiores devido ao aumento do nível do mar e dos níveis de subsidência. A implementação de soluções sustentáveis exigirá mais tempo do que o disponível. Portanto, apostam no reforço e elevação das atuais defesas marítimas e fluviais em pelo menos 1,5 metro, o que forneceria proteção até 2022, permitindo tempo para desenvolver soluções mais robustas.

Para este fim, o norte de Jakarta e seus arredores foram divididos em um sistema de 7 anéis de dique que protegem a área de inundação. Para 5 rios e canais, já estão sendo preparadas a construção de novas estações de bombeamento que os manterão fechados fora da baía: a água não fluirá mais sob gravidade, mas será bombeada para a Baía. O fechamento desses rios reduz significativamente o comprimento das margens

²⁸ Mass Rapid Transit – Sistema de metrô em fase de implementação.

do rio que precisam ser fortalecidas. Embora esses aterros estejam situados em áreas urbanas densas, isso também reduz o número de pessoas que precisam ser reassentadas. Em muitos locais, o espaço disponível para melhorias em diques é limitado. Portanto, foram feitos projetos que estão integrados no ambiente urbano denso e onde possível, as funções serão combinadas com ou nesses diques.

De qualquer forma, é essencial parar a causa do aumento dos riscos de inundação e reduzir a subsidência. A subsidência, em grande parte, é causada por extrações de água subterrânea em excesso, que devem ser interrompidas e substituídas por água encanada.

Como possibilidade de soluções de longo prazo (Fase B), o plano estuda e apresenta três principais opções: abandonar o norte de Jakarta, reforço de diques em terra e soluções no mar (Figura 15). O abandono do norte de Jakarta seria uma opção viável apenas se os benefícios da proteção costeira não superassem os custos ou se nenhuma solução técnica viável estivesse disponível. Um estudo econômico mostra que o abandono da zona de risco de inundação significaria que 4,5 milhões de pessoas teriam que ser realocadas e que 103 bilhões de dólares em terras e imóveis em uma área metropolitana já densamente povoada seriam perdidos. Abandonar o norte de Jakarta não é, portanto, considerado uma opção desejável nem viável, já que o capital investido e o número de habitantes são muito grandes. O dano material evitado de US \$ 103 bilhões justifica um investimento considerável em segurança contra inundações.

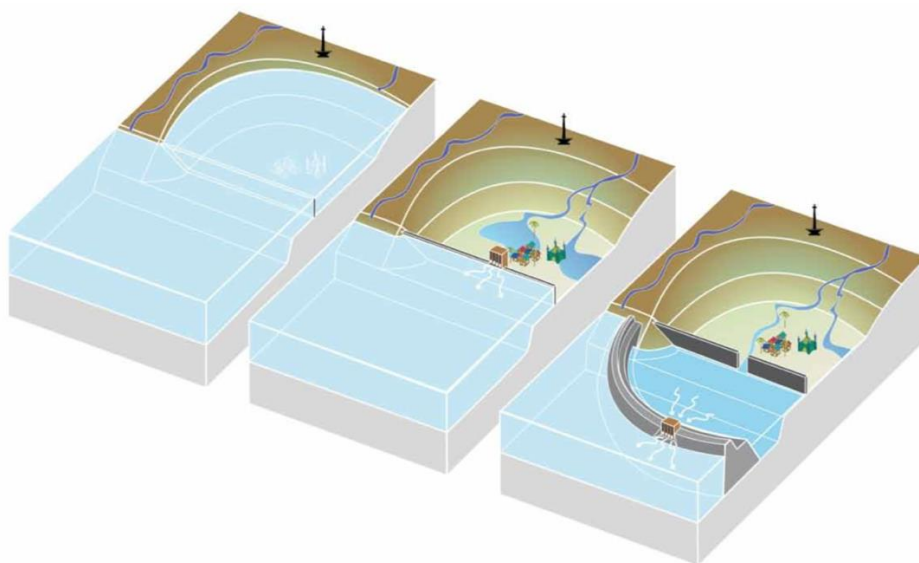


Figura 15 - Possibilidade de soluções de longo prazo para proteção da zona costeira de Jakarta
– Fonte: NCICD,2014

Uma solução em terra significa proteger a cidade com um enorme paredão na atual linha de costa e diques de rio igualmente altos (até 7 metros a longo prazo). Todos os cruzamentos de rios terão que ser elevados até vários metros de altura, exigindo espaço para estradas de acesso longas e altas. Além disso, cerca de 10 mil hectares de lagoas de retenção e uma grande capacidade de bombeamento serão necessários para manter as zonas de baixa elevação livres de inundações. A implementação dessa opção significa medidas drásticas na cidade existente, densamente povoada. Construir esses diques e lagoas de retenção requer o deslocamento de muitas pessoas e a dependência desta estrutura torna-se extremamente alta, o que significa que em caso de rompimento destes diques, as consequências serão desastrosas. É improvável que nessa situação a evacuação seja possível e o risco de acidente seja alto.

A alternativa no mar consiste em uma parede marítima externa na Baía de Jacarta, criando o imenso lago de bombeamento no mar. Combinando a parede do mar com a recuperação de terras, pode ser feita uma defesa marítima robusta e inquebrável. O lago de retenção atrás do dique terá um nível de água rebaixado que facilita a descarga livre dos rios. As instalações de bombeamento mantêm o nível de água no lago suficientemente baixo. No entanto, esta alternativa coloca novos desafios, como: qualidade de água aceitável no lago gigante. Para isso a poluição nos rios tem que ser reduzida com aproximadamente 75% (substâncias orgânicas principalmente de agregados familiares) a 95% (nutrientes). A implementação de um sistema de coleta e tratamento de esgoto na zona costeira de Jacarta precisa ser acelerada consideravelmente, exigindo ação imediata.

O lago gigante diminui a necessidade de mais lagos na cidade. Essa opção fornece proteção sólida até 2080, o que fornece tempo para reduzir a subsidência. Além disso, esta solução oferece oportunidades de desenvolvimento socioeconômico, pois o dique pode ser combinado com o desenvolvimento urbano. O dique e a recuperação de terras possibilitam a finalização do segundo e terceiro anel rodoviário ao redor de Jacarta. Com base nessas considerações, esta última é a alternativa escolhida pelo plano, como base para o planejamento futuro e a construção do distrito Great Garuda.



Figura 16 - Imagem do Master Plan de Great Garuda – Fonte: NCICD,2014.

O plano apresenta algumas soluções em termos de conexão do novo distrito criado com a cidade existente, além de medidas que pretendem uma mudança na base da mobilidade de Jakarta, investindo em transportes públicos e na redução do uso do transporte individual motorizado. Os projetos relacionados ao sistema de transporte farão parte da fase B de implementação do plano.



Figura 17 - Master Plan Fase B – Sistema de transporte em Great Garuda - Fonte: NCICD,2014.

As propostas para a rede de transporte público consiste em:

- O dique fornece uma rota para um trem de alta velocidade, como parte da ferrovia de alta velocidade ao longo da costa norte de Java;
- Uma ferrovia de carga no leste da zona costeira para conectar Tanjung Priok com o interior;
- Um trilho leve (MRT) para conectar o distrito com a cidade central. Essa conexão é uma extensão do corredor sul-norte na cidade de Jakarta.
- Uma conexão MRT opcional através da recuperação de terras planejadas ao longo da costa para conectar diretamente o Great Garuda com o aeroporto

As rotas de ônibus ao longo das principais estradas do Garuda, em conjunto com o MRT formam a principal forma de transporte público dentro do distrito, acomodando 45% do tráfego. Os ônibus circulam principalmente em faixas de ônibus separadas, apenas em ruas tranquilas eles vão fazer uso de faixas de carro. Desta forma, uma rede densa é criada para o transporte público por ônibus.

As estruturas verdes no Garuda, em combinação com distâncias relativamente curtas, devido ao desenvolvimento de alta densidade, fazem com que cerca de 10% do tráfego consista em pedestres e bicicletas. O tráfego restante no distrito é composto por carros e motos.

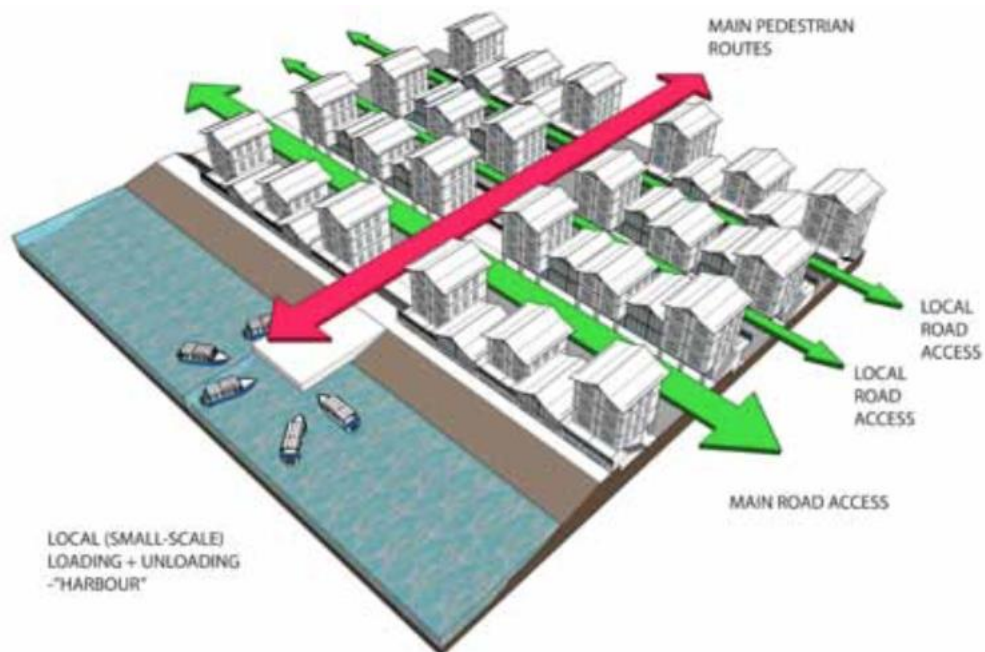


Figura 18 - Ilustração de implantação das vias - Fonte: NCICD,2014.

Apesar de uma tentativa de investimento em transporte público, o que por si só melhora as condições de resiliência do sistema, o plano não faz menção direta às soluções de adaptação às alterações climáticas para o sistema de transporte. De modo geral a estratégia de adaptação do plano é baseada na proteção através de engenharia dura com a criação de um dique oceânico, uma enorme bacia de retenção e sistema de bombeamento da água nos rios e canais. Ou seja, o objeto de atuação é principalmente a drenagem urbana e no uso do solo.

Para as infraestruturas de transporte existentes, o plano não faz menção à recuperação, ou reforço e para as novas infraestruturas criadas, não há menção sobre técnicas de construção para lidar com a presença da água. Entende-se portanto, que o plano aposta totalmente no impedimento da presença da água na cidade, assumindo que a proteção resolverá o problema das inundações urbanas.

A tabela 10 resume as opções de adaptação adotadas pelo plano, apresentando um panorama geral de medidas que podem ser consideradas estruturais pois envolvem a cidade como um todo, o que significa que o dique criado pode proteger milhões de pessoas e a infraestrutura, incluindo a de transporte, dos impactos das alterações climáticas, mantendo a cidade funcionando. As medidas propostas pelo plano atuam na redução da exposição através da construção de diques e da sensibilidade, melhorando as condições de drenagem.

A partir das informações sistematizadas na tabela acima, é possível perceber que as ações ainda limitadas de adaptação, podem ter relação direta com o contexto socioeconômico da cidade de Jakarta, em um país em desenvolvimento, que precisa lidar ainda com problemas no fornecimento de serviços básicos à sua população e portanto, parece dispor de menores recursos para o investimento em adaptação.

A abordagem baseada principalmente em ações de baixo arrependimento, indica um contexto em que a adaptação ainda não parece ser prioritária, apesar de muito necessária.

COERÊNCIA										
CONTEXTO SOCIOECONÔMICO										
PAÍSES DESENVOLVIDOS					PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO					
					X					
DIAGNÓSTICO										
ZONA DE RISCO DE INUNDAÇÃO										
					X					
TERRESTRE					COSTEIRA					
					X					
MULTIPLICIDADE DE AÇÕES										
TIPO										
ANTECIPATÓRIA			REATIVA			AUTÔNOMA			PLANEJADA	
			X						X	
ESTRATÉGIAS										
PROTEGER (OU FORTALECER)			ACOMODAR (OU MANTER E GERENCIAR)			RECUAR (OU REALOCAR)			AUMENTAR A REDUNDÂNCIA	
X									X	
FORMA										
FÍSICA				SOCIAL			INSTITUCIONAL			
ENGENHARIA	TECNOLÓGICAS	ABE	SERVIÇOS	EDUCACIONAL	INFORMACIONAL	COMPORTAMENTAL	ECONÔMICA	LEIS E REGULAÇÕES		POLÍTICAS GOVERNAMENTAIS E PROGRAMAS
X										
OBJETO										
INFRAESTRUTURA			OPERAÇÕES		VEÍCULOS		COMPORTAMENTO		USO DO SOLO	
RODOVIÁRIA	FERROVIÁRIA	DRENAGEM								
		X							X	
ABORDAGEM										
SOLUÇÕES										
RECONSTRUÇÃO			RECUPERAÇÃO			ABANDONO			PLANOS DE EVACUAÇÃO	
X			X							
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO										
ROBUSTA			FLEXÍVEL				DE BAIXO ARREPENDIMENTO			
X							X			
AGENDA DE ADAPTAÇÃO										
PLANO/PROJETO ESPECIFICAMENTE NO SETOR DE TRANSPORTES						PARTE DE OUTROS PLANOS DE AÇÃO				
						X				
EFICÁCIA - Componentes da vulnerabilidade										
MAGNITUDE										
ESTRUTURAIS						NÃO ESTRUTURAIS				
x										
REDUÇÃO DA VULNERABILIDADE										
EXPOSIÇÃO			SENSIBILIDADE				CAPACIDADE ADAPTATIVA			
X			X							
EFETIVIDADE										
IMPEMENTAÇÃO DAS AÇÕES										
REVISÃO E MONITORAMENTO										

Tabela 10 - Tabela com a sistematização das opções de adaptação adotadas no Master Plan - National Capital Integrated Coastal Development 2014 (NCICD).

3.3 Rio de Janeiro, Brasil

A cidade do Rio de Janeiro possui um histórico de desastres naturais recorrentes, intimamente ligado ao processo de expansão de sua malha urbana, que favoreceu a elevada concentração de pessoas e edificações entre morros e o mar, lagoas e baías, frequentemente em áreas de risco de inundação e escorregamento de massa ou muito expostas a agentes oceânicos como ressacas.

Problemas de inundação tem causado, desde sempre, grandes perdas para a cidade. Com a mudança dos padrões de precipitação, estes momentos tem se tornado cada vez mais frequentes e catastróficos em função do despreparo e da ineficiência das infraestruturas da cidade para lidar com estes eventos. A situação de vulnerabilidade dos sistemas e da população é agravada pela ameaça de elevação do nível do mar e a grande exposição da cidade a este impacto, colocando em risco a infraestrutura costeira.

As infraestruturas de transporte estão expostas a riscos de inundação tanto terrestre quanto costeira e a mobilidade na cidade fica completamente comprometida durante estes eventos. Períodos de chuvas intensas, como os registrados em 2010, que ultrapassaram os registros históricos de intensidade, já se repetiram algumas vezes até os dias de hoje, provando que inundações de 100 anos passarão a ocorrer num espaço de tempo muito menor.



Figura 19 - Ruas alagadas e trânsito interrompido devido às inundações em abril de 2019 - Fonte: <https://www.bbc.com> – acesso em abril de 2019

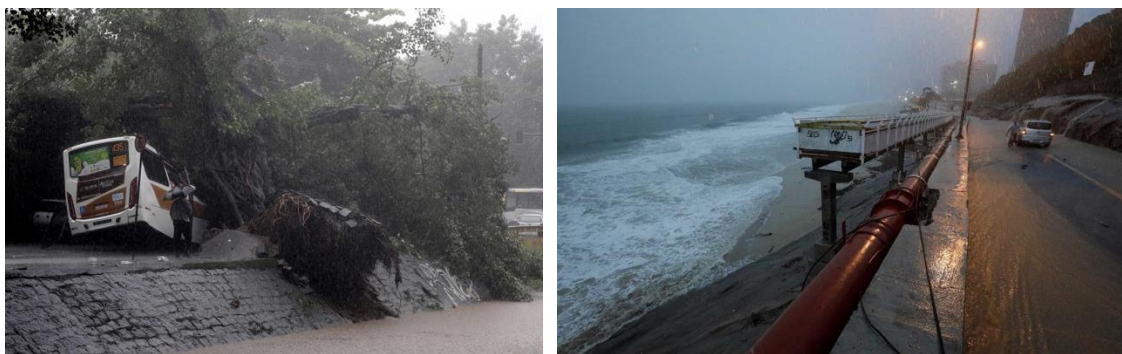


Figura 20 - Danos à infraestrutura e veículos: Estradas e ônibus danificados / Parte da ciclovia Tim Mai que desabou pela 4ª vez desde a sua construção em função das fortes chuvas e maré alta –Fonte: <https://www.bbc.com> – acesso em abril de 2019

A cidade fez alguns avanços nos últimos anos na busca por soluções para o enfrentamento do problema e adaptação para a resiliência da cidade. A implementação do Centro de Operações Rio (COR)²⁹, por exemplo, representa um grande passo na gestão do risco de desastres. Cerca de 30 órgãos (secretarias municipais e concessionárias de serviços públicos) trabalham juntos para monitorar a operação da cidade, buscando antecipar soluções, alertar os setores responsáveis sobre os riscos e as medidas urgentes que devem ser tomadas em casos de emergências, como chuvas fortes, deslizamentos e acidentes de trânsito.

Em 2016 a cidade lançou, com o apoio do 100 Resilient Cities a “*Estratégia de Resiliência*” do projeto Rio Resiliente. Os principais objetivos do plano são: aprofundar o conhecimento e mitigar os impactos de eventos climáticos extremos e mudanças climáticas; mobilizar o Rio para que esteja preparado para enfrentar e responder a eventos climáticos extremos e outros choques; desenvolver e adaptar espaços urbanos verdes, frescos, seguros e flexíveis; prover serviços básicos de alta qualidade para todos os cidadãos, utilizando os recursos de forma resiliente e sustentável; promover uma economia inclusiva, diversificada, circular e de baixo carbono; além de aumentar a resiliência de cidadãos e promover a coesão social.

²⁹ O Centro de Operações Rio (COR), inaugurado em dezembro de 2010, usa alta tecnologia para o gerenciamento das informações fornecidas pelas agências integradas e por diversos tipos de sensores estrategicamente posicionados. Cerca de 800 câmeras da prefeitura são monitoradas pela equipe do COR, que também tem acesso a outras 700 gerenciadas por concessionárias de serviços públicos e pela Secretaria Estadual de Segurança Pública. Fonte: <http://centrodeoperacoes.rio> – acesso em março de 2019

No mesmo ano, foi lançada também a “Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro, que está fundamentada em Eixos Estratégicos, aos quais são associadas Linhas de Ação, Iniciativas e Atividades e servirá de base para a criação do Plano de Adaptação da cidade e portanto foi escolhido para ser avaliado neste trabalho.

3.3.1 Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro 2016

O documento apresenta seis eixos estratégicos: (a) Fortalecer a capacidade institucional e humana; (b) Garantir a conservação e integridade dos ecossistemas e o uso racional e sustentável dos recursos naturais; (c) Fomentar a promoção da saúde da população frente às mudanças climáticas; (d) Conduzir a ocupação e uso do território de forma a promover a qualidade urbano-ambiental; (e) Garantir a mobilidade urbana eficiente e sustentável; (f) Garantir o funcionamento das Infraestruturas Estratégicas sob condições climáticas adversas.

A estratégia faz uma avaliação da exposição e vulnerabilidades de Sistemas de Interesse, que foi estruturada com base na identificação e mapeamento da vulnerabilidade da cidade às mudanças climáticas, por meio da elaboração do Índice de Vulnerabilidade, composto pelo Índice de Sensibilidade e o Índice de Capacidade Adaptativa. Os Sistemas de Interesse analisados foram: Urbanização e Habitação, Mobilidade Urbana, Saúde e Ativos Ambientais. Foram avaliadas, adicionalmente, Infraestruturas Estratégicas³⁰, porém apenas do ponto de vista da exposição aos perigos climáticos.

Esta avaliação permite identificar as estratégias mais adequadas para reduzir os fatores que sensibilizam os Sistemas de Interesse e, ao mesmo tempo, fortalecer a capacidade institucional e de pessoas, bem como a resiliência dos ecossistemas, alinhada ao planejamento e gestão da cidade. As iniciativas são pautadas

³⁰ Segundo o documento em questão, Infraestruturas Estratégicas compreende os setores essenciais para o funcionamento da Cidade no dia-a-dia e no momento de crise. Foram classificados em três categorias — Resposta, instituições responsáveis por garantir a segurança e integridade da população; Operação, instalações intrinsecamente ligadas ao funcionamento diário da Cidade; e Educacional, instituições de ensino básico e fundamental.

principalmente em ações de baixo ou nenhum arrependimento, que possam ser adotadas independente da questão climáticas, os custos baixos associados e benefícios relativamente altos e que reduzam a vulnerabilidade ou explorem oportunidades agregando outros benefícios.

A estratégia é uma medida de adaptação reativa pois tem como base as situações de desastres recorrentes na cidade. Vários temas e setores são foco das medidas de adaptação apresentadas pelo documento, o que configura uma adaptação planejada. Apesar de não ser um plano especificamente sobre adaptação nos sistemas de transporte, dois dos seis eixos estratégicos apresentados estão diretamente relacionados ao tema:

Garantir a mobilidade urbana eficiente e sustentável

Das diversas linhas de ação que fazem parte deste eixo estratégico, duas serão descritas aqui por estarem relacionadas aos transportes públicos, base deste estudo:

- Aumentar a segurança das infraestruturas rodoviárias e de trilhos.

Em linhas gerais, as iniciativas e atividades para concretização deste objetivo baseiam-se em:

- Compreensão dos riscos individuais e sistêmicos para o funcionamento dos modos de transporte e como podem se intensificar com as alterações climáticas, através da sistematização de informações históricas e criação de uma base de dados e avaliação dos riscos à inundação, atuais e futuros, na infraestrutura rodoviária e ferroviária e nas estações;
- Incorporação dos riscos das projeções futuras do clima no planejamento da expansão dos sistemas de transporte de média e alta capacidade;
- Promover a integração física entre os modos de transporte, construindo terminais intermodais protegidos das inundações atuais e projetadas;
- Ajustar os procedimentos de fiscalização e manutenção das infraestruturas de transportes (trilhos, pavimentos, drenagem, base, sub-base, obras de artes especiais e túneis). Esta iniciativa pode ser efetivada através da transparência nas informações de monitoramento e manutenção; busca em parceria com universidades e institutos de pesquisa de soluções e técnicas para a redução do desgaste dos materiais, com o objetivo de incorporar em cadernos de instrução e normas técnicas construtivas; Ajustar

a frequência da fiscalização e manutenção em função dos riscos; e elaborar estratégia de manutenção e limpeza periódica da rede de drenagem no entorno das vias e estações ferroviárias e metroviárias; elaborar plano de educação ambiental que reverta o costume de jogar lixo na faixa de domínio ou nas vias.

- Elaborar Plano de Contingência integrado, incorporando o sistema de transporte como um todo, possibilitando a operação mínima do sistema ou reestabelecimento rápido das suas funções quando submetido a eventos climáticos extremos.

- Fomentar a ampliação do uso de seguros para proteção dos sistemas públicos de transporte e infraestruturas viárias;

- Subsidiar escolha de trajetos pelos cidadãos :

- Ampliar o fluxo de informações entre os operadores de transportes e os cidadãos, através da intensificação do uso de ferramentas de TI para disponibilizar informações atualizadas e detalhadas na internet, aplicativos de celular e painéis luminosos sobre a operação dos diversos sistemas de transportes (trajetos, horários de partida, alteração de percurso, suspensão do serviço)

Garantir o funcionamento das Infraestruturas Estratégicas sob condições climáticas adversas

Este eixo estratégico também tem relação direta com os sistemas de transporte, pois podem ser considerados infraestruturas estratégicas, principalmente em situações de risco. As linhas de ação propostas pela estratégia são:

- Orientar a operacionalização das Infraestruturas Estratégicas (Resposta-R, Operacional-O, Educacional-E :

- Desenvolver estudos que melhorem o entendimento dos potenciais impactos das alterações climáticas nas Infraestruturas Estratégicas (R, O, E)

- Monitorar as interdependências dos diferentes setores (R, O, E), como forma de se preparar para possíveis impactos sem prejudicar outros sistemas – efeito cascata;

- Ampliar a cobertura dos setores urbanos reforçando a redundância e a diversificação do sistema (O)

- Planejar o aumento da demanda futura e a implementação de sistemas de backup/sistema diversificado (R, O), através da adequação dos sistemas às alterações

de demanda (aumento da população e efeito das alterações climáticas), prosseguir com a implementação de sistemas de segurança (backup) em unidades/setores que não podem ter seus serviços interrompidos, entre outros;

- Promover a adequação das Infraestruturas Estratégicas de Resposta, Operacional e Educacional:
 - Integrar às alterações climáticas em editais de concessão de projeto, planos e programas de IE, para novas infraestruturas e incentivar a criação de normas para promover a adequação das existentes;
 - Reavaliar a localização de unidades que se mostrarem expostas através de estudos de análise de exposição para confirmar a viabilidade de adaptação e se for o caso, promover o deslocamento das infraestruturas para áreas mais seguras procurando não afetar a população atendida.

Com base na tabela 11, resumo da abordagem de adaptação da Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro, é possível traçar um panorama geral do cenário da adaptação da cidade no que diz respeito aos sistemas de transporte e mobilidade. As propostas apresentadas pelo documento assumem principalmente a forma física com algumas soluções de engenharia e de serviços como a limpeza e manutenção de bueiros, entre outros; a forma social, investindo na informação, educação e na mudança de comportamento; e na forma institucional através de benefícios econômicos como os seguros, e leis e regulações para os projetos. Como objeto das ações, a Estratégia aposta na infraestrutura, tanto transporte quanto de drenagem das áreas do entorno, nas operações e no comportamento dos usuários.

A Estratégia não menciona a reconstrução de infraestruturas que tenham sido danificadas em função dos desastres que já aconteceram. A linha de atuação é baseada principalmente na recuperação, no sentido de promover melhorias em infraestruturas existentes e direcionar através de padrões de projetos a construção de novas infraestruturas.

Apesar de abordar com abrangência o tema dos transportes, não são apresentados projetos mais detalhados, as propostas ainda não foram efetivadas e o Plano da Adaptação da Cidade do Rio de Janeiro, ainda não foi lançado, o que parece também condizer com o contexto socioeconômico em que a cidade está inserida. Assim

como Jakarta, a cidade do Rio de Janeiro está situada em um país em desenvolvimento, onde a adaptação, não parece ser prioridade.

Entretanto, é possível perceber neste caso uma abordagem mais direcionada para as questões sociais da adaptação e menos de engenharia, com propostas de incremento dos sistemas de informação, tornando possível reduzir os riscos de desastres com o aviso à população, bem como através da educação para a resiliência.

Apesar de propor, em sua maioria, adaptações do tipo baixo-arrependimento, estas possuem um carácter estrutural em função da quantidade de pessoas que serão afetadas pelas medidas apresentadas.

COERÊNCIA									
CONTEXTO SOCIOECONÔMICO									
PAÍSES DESENVOLVIDOS					PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO				
					X				
DIAGNÓSTICO									
ZONA DE RISCO DE INUNDAÇÃO									
X									
TERRESTRE					COSTEIRA				
X					X				
MULTIPLICIDADE DE AÇÕES									
TIPO									
ANTECIPATÓRIA			REATIVA			AUTÔNOMA		PLANEJADA	
			X					X	
ESTRATÉGIAS									
PROTEGER (OU FORTALECER)			ACOMODAR (OU MANTER E GERENCIAR)			RECUAR (OU REALOCAR)		AUMENTAR A REDUNDÂNCIA	
			X					X	
FORMA									
FÍSICA				SOCIAL			INSTITUCIONAL		
ENGENHARIA	TECNOLÓGICAS	ABE	SERVIÇOS	EDUCACIONAL	INFORMACIONAL	COMPORTAMENTAL	ECONÔMICA	LEIS E REGULACOES	POLITICAS GOVERNAMENTAIS E PROGRAMAS
X	X		X	X	X	X	X	X	
OBJETO									
INFRAESTRUTURA			OPERAÇÕES		VEÍCULOS		COMPORTAMENTO		USO DO SOLO
RODOVIÁRIA	FERROVIÁRIA	DRENAGEM							
X	X	X	X				X		X
ABORDAGEM									
SOLUÇÕES									
RECONSTRUÇÃO			RECUPERAÇÃO			ABANDONO		PLANOS DE EVACUAÇÃO	
			X					X	
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO									
ROBUSTA			FLEXÍVEL				DE BAIXO ARREPENDIMENTO		
							X		
AGENDA DE ADAPTAÇÃO									
PLANO/PROJETO ESPECIFICAMENTE NO SETOR DE TRANSPORTES					PARTE DE OUTROS PLANOS DE AÇÃO				
					X				
EFICÁCIA - Componentes da vulnerabilidade									
MAGNITUDE									
ESTRUTURAIS					NÃO ESTRUTURAIS				
X									
REDUÇÃO DA VULNERABILIDADE									
EXPOSIÇÃO			SENSIBILIDADE				CAPACIDADE ADAPTATIVA		
			X				X		
EFETIVIDADE									
IMPEMENTAÇÃO DAS AÇÕES									
REVISÃO E MONITORAMENTO									

Tabela 11 - Tabela com a sistematização das opções de adaptação adotadas na Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro 2016

4 Resultados

Com o objetivo de reunir as ações de adaptação encontradas nos casos de estudos e fazer uma comparação entre a situação das cidades analisadas no que diz respeito às adaptações de seus sistemas de transporte face às alterações climáticas, foram criados gráficos com o resultado global de cada critério analisado (os quadros de referência podem ser vistos no ANEXO II) .

No que diz respeito ao critério da coerência, que tinha como objetivo analisar em que contexto socioeconômico cada cidade estava inserida e se havia sido feito um diagnóstico das zonas de inundação e do tipo de inundação a que cada cidade estava exposta a fim de analisar a coerência da abordagem de adaptação, a pesquisa mostra que das três cidades analisadas, Nova York é a única em um país desenvolvido. Este fato tem consequência direta na quantidade de estudos feitos e dados disponibilizados para definição e entendimento das vulnerabilidades e riscos de inundação na cidade.

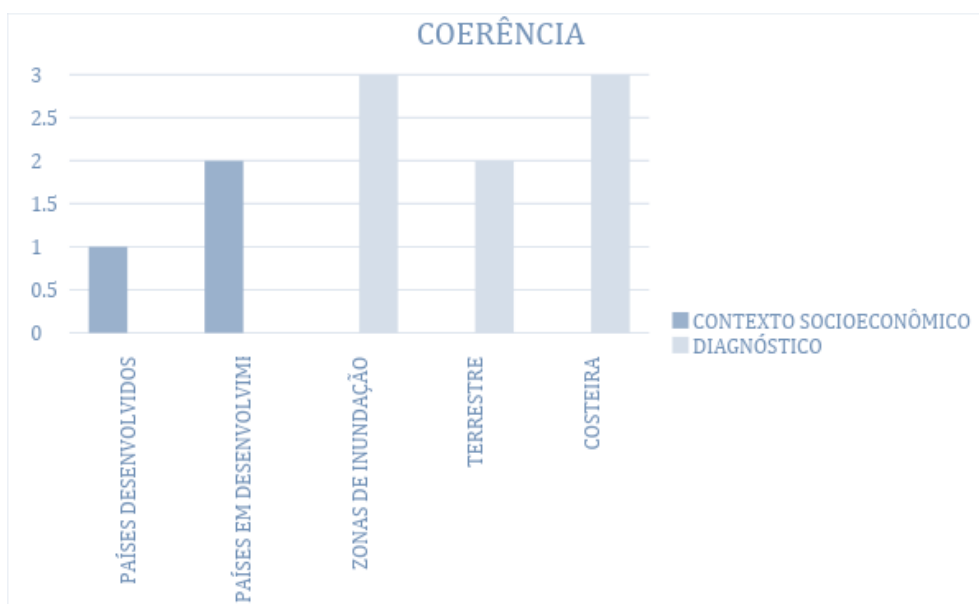


Gráfico 4 - Critério da Coerência – Produção do autor

Os planos analisados para as três cidades têm por base diagnósticos de risco de inundação, o que aumenta a chance de sucesso dos planos e a coerência com o contexto no qual se inserem, mas a base de dados de Jakarta e Rio de Janeiro ainda é deficiente em alguns pontos, o que aumenta a incerteza em relação a certas medidas a serem tomadas. Com relação ao tipo de inundação, apenas Jakarta não considera o risco de inundação terrestre para o desenvolvimento de seu plano.

No critério multiplicidade de ações, a análise foi dividida entre tipo, estratégia, forma e objeto de adaptação. A comparação entre as cidades nos permite perceber que de um modo geral as ações de adaptação acontecem quase sempre de forma reativa, depois de algum evento extremo que tenha resultado em perdas econômicas, materiais e humanas. O plano MTA Capital Program de Nova York foi considerado também antecipatório pois já foi revisado e muitas das ações de caráter reativo já foram implementadas, dando lugar a novos projetos que agem de forma antecipatória. Este é também o único plano considerado uma medida autônoma de adaptação, pois atua especificamente sobre um único setor, o dos transportes. Mas cabe ressaltar, que apesar de agir de forma independente como um plano setorial, as propostas e projetos apresentados pelo plano, estão de acordo com as diretrizes do One NYC.

Como estratégias de adaptação, Jakarta é a única que apresentou uma proposta toda baseada na proteção, evitando a presença da água e tornando-a extremamente dependente de uma infraestrutura de engenharia dura. O Masterplan, no entanto, não fala de forma alguma sobre qualquer medida adaptativa proposta uma vez que um dique quebre ou que seja ultrapassado pela água. Nova York também possui medidas de proteção, baseadas principalmente na natureza, mas não aparecem no resultado das soluções de adaptação para a cidade, pois o plano analisado (MTA Capital Project) não aborda estas questões. A adaptação baseada no ecossistema, não incide diretamente sobre o sistema de transporte, mas pode ajudar a protegê-lo.

As estratégias de adaptação em Nova York e Rio de Janeiro baseiam-se principalmente na acomodação, o que significa melhorias nas partes integrantes do próprio sistema de transporte e não externo a ele. Além destas, a redundância aparece nas três cidades como opção principalmente através da expansão das infraestruturas e operações existentes, aumentando as possibilidades de rotas.

As formas de adaptação são principalmente físicas, através da engenharia e tecnologia. Nova York e Rio de Janeiro investem também na adaptação social e já possuem sistemas de informação da população bastante eficientes sobre as operações e serviços, o que aumenta significativamente a capacidade de adaptação. Além disso, o Rio de Janeiro pretende investir na educação resiliente, com o ensino sobre o tema na educação de base. Leis e Regulações nestas duas cidades são usadas como forma de adaptação institucional com a criação de normas de construção para projetos de transportes, principalmente os de massa.

Os planos analisados nas três cidades incidem principalmente sobre a melhoria do sistema de drenagem. Nova York e Rio de Janeiro possuem também propostas para as infraestruturas de transporte, operações, veículos e mudanças no comportamento da população. Para a Estratégia de Adaptação do Rio de Janeiro, são apresentadas propostas também sobre o uso do solo e da necessidade de interação deste com o sistema de transporte público. O MTA Capital Program não faz menção a isso de forma específica por se tratar de um plano unicamente de transportes. Por isso, a necessidade da sobreposição de planos setoriais e a interação entre eles para obter melhores resultados no alcance da resiliência.

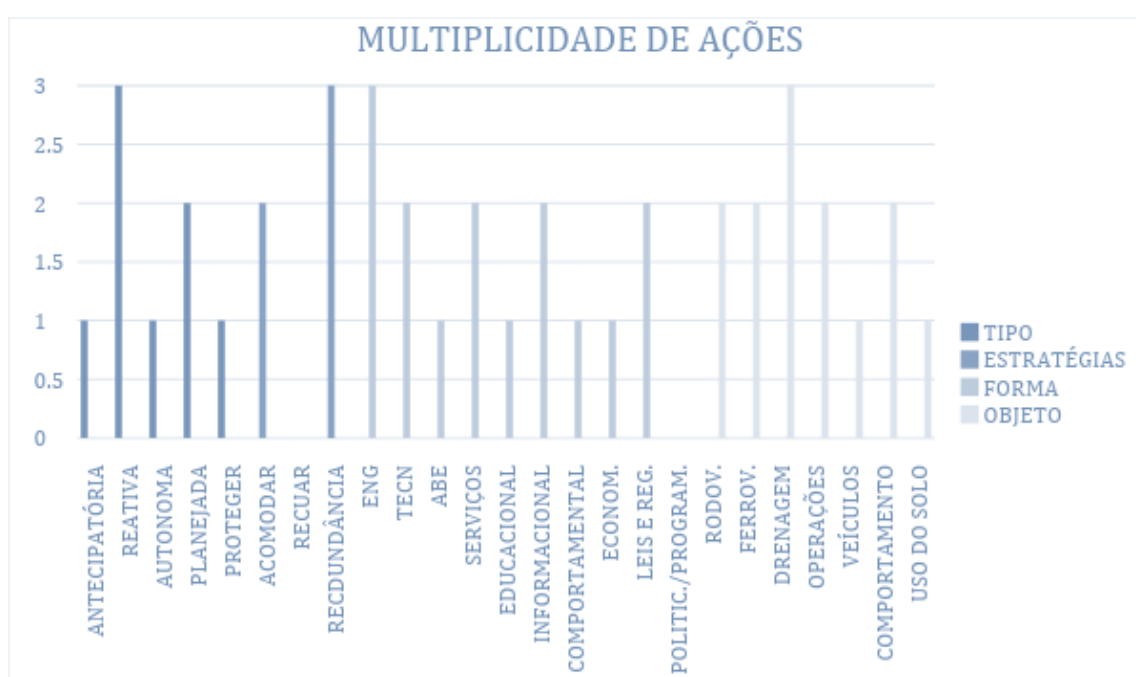


Gráfico 5 - Critério da Multiplicidade de ações – Produção do autor.

O critério da abordagem analisa quais as principais soluções, medidas de adaptação e como se insere o plano analisado na agenda de adaptação da cidade. As soluções para as três cidades são baseadas principalmente na recuperação, ou seja, melhoria das condições de seu sistema de transporte. Nova York e Jakarta também investem na reconstrução de infraestruturas danificadas por eventos extremos passados. O Rio de Janeiro não apresenta propostas neste sentido. Apesar de se apresentar como uma das iniciativas para a segurança do sistema de transporte o eventual abandono ou relocação de infraestruturas estratégicas, o plano do Rio de Janeiro diz que isso seria feito após estudos que indicassem a inviabilidade de

recuperação da mesma. Portanto, esta solução não aparece como solução efetiva de adaptação abordada por essa, nem pelas outras cidades. O abandono de infraestruturas existentes é uma solução em última instância pois representa a perda de capital investido e investimento em construção de infraestruturas de substituição, em áreas já densamente povoadas, causando ainda mais custos com relocação de população, entre outros. Estes custos, em megacidades como as analisadas, poderiam ser investidos em medidas de adaptação na própria infraestrutura.

As cidades situadas em países em desenvolvimentos (Jakarta e Rio de Janeiro) investem principalmente em medidas de adaptação de baixo ou nenhum arrependimento, pois têm tantas questões básicas a serem resolvidas, que medidas capazes de gerar benefícios para além da adaptação do clima, tornam-se prioritárias. Como Nova York está na vanguarda da adaptação climática e apresenta um contexto socioeconômico que permite tomadas de decisão mais a longo prazo, o plano apresenta medidas de adaptação mais robustas e flexíveis.

Com relação à Agenda de adaptação da cidade, apenas Nova York apresenta um plano especificamente sobre transportes, apesar de não ser um plano que trata unicamente da questão da adaptação.

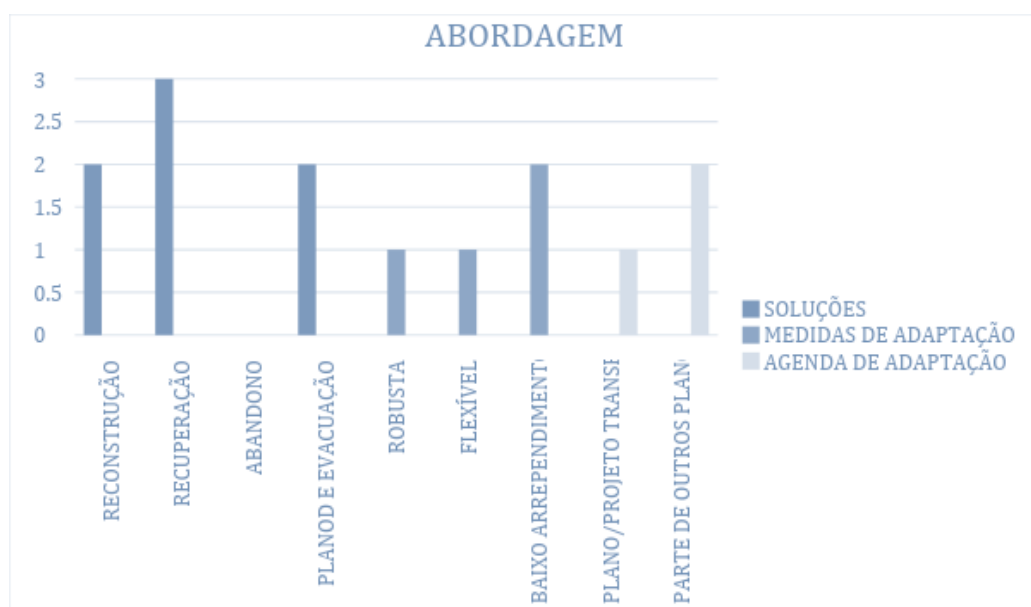


Gráfico 6 - Critério da Abordagem – Produção do autor

O critério da eficácia analisa a magnitude das medidas de adaptação apresentadas pelas cidades e a sua contribuição para a redução da vulnerabilidade. Como é possível perceber no gráfico a seguir, todas as ações de adaptação apresentadas pelas cidades têm caráter estrutural. Isso se deve ao fato de que qualquer intervenção

feita em sistemas de transporte, principalmente os de massa, afeta milhões de pessoas que utilizam estes modais todos os dias para realizar atividades essenciais. Como este é o setor foco de análise desta pesquisa, ainda que o plano não seja unicamente sobre o tema, o resultado não poderia ser diferente.

Ainda em termos de eficácia, a redução da sensibilidade aparece como principal fator para a redução da vulnerabilidade.

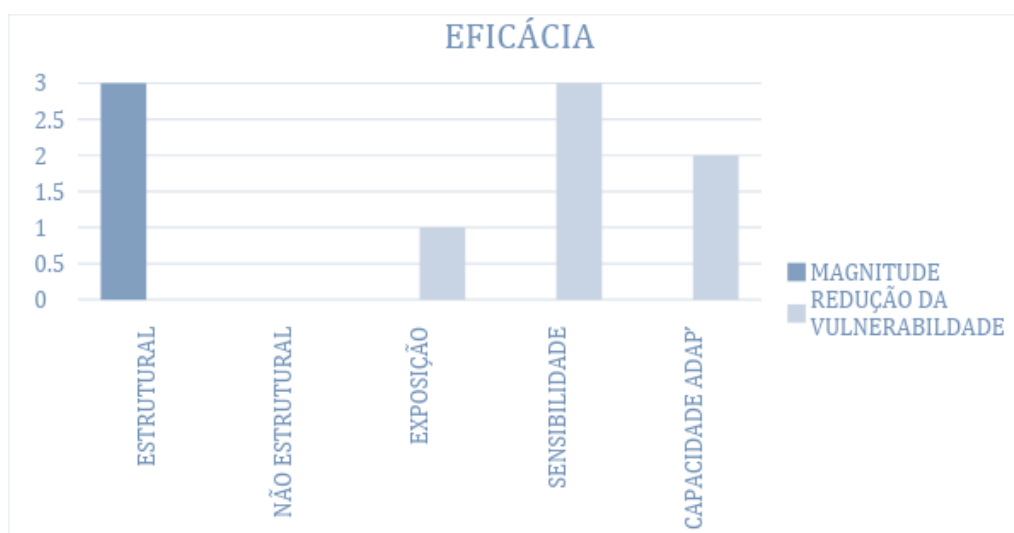


Gráfico 7 - Critério da Eficácia – Produção do autor.

O último critério, analisa a efetividade das medidas de adaptação. Apenas Nova York possui evidência de implementação das medidas de adaptação propostas pelo plano, bem como o seu monitoramento e revisão. A partir da análise dos planos e da extensa literatura consultada nesta dissertação, é possível perceber que cidades e principalmente megacidades em países em desenvolvimento apesar de serem os mais vulneráveis e os que mais sofrem com as alterações climáticas, possuem maior dificuldade em passar da fase de planejamento da adaptação para a fase de implementação das ações, como dito anteriormente, em função da prioridade de ações para resolução de outros problemas de caráter básico. Este torna-se um ciclo vicioso no qual a necessidade de adaptação esbarra na prioridade para soluções de problemas, muitas vezes causados por grandes desastres, e a falta da mesma, agrava ainda mais a situação existente.

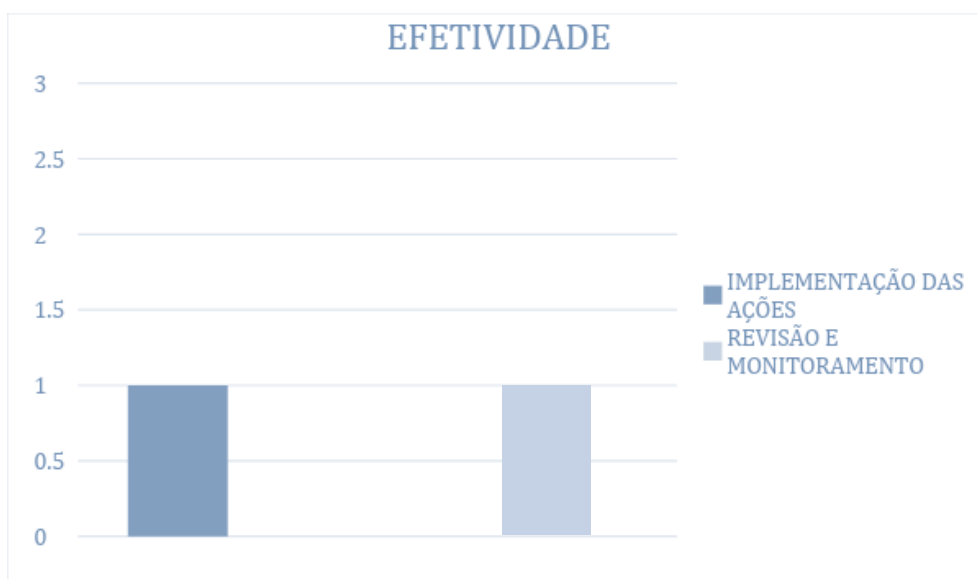


Gráfico 8 - Critério da Efetividade – Produção do autor.

Como resultado global da análise, feita a partir da sistematização das opções de adaptação das experiências analisadas e da comparação entre elas, foi possível perceber para além das tendências em relação às abordagens de adaptação no setor dos transportes já descritas ao longo deste capítulo, uma superioridade da cidade de Nova York em relação ao tema. Alguns paralelos podem ser traçados com o objetivo de levantar questões para desenvolvimento em estudos futuros, como por exemplo:

- Cidades em países desenvolvidos podem ter menos dificuldade de implementação das ações, em função de suas melhores condições em termos sócioeconômicos, maiores investimentos em pesquisa e conhecimento aprofundado dos fenômenos que impactam seus territórios.

- Por ser um tema ainda pouco abordado no âmbito da adaptação às alterações climáticas, a adaptação dos sistemas de transporte em países em desenvolvimento ainda é pouco explorada.

- Adaptações planejadas são desejáveis, mas a autonomia dos setores possibilita o desenvolvimento e a implementação de projetos de forma mais eficiente, como é o caso da Agência Metropolitana de Transportes de Nova York (MTA).

- Medidas de proteção são essenciais, mas a sua utilização como única estratégia de adaptação pode gerar grande fragilidade no sistema, como é o caso de Jakarta.

- Medidas de adaptação nos sistemas de transporte público serão sempre estruturais em função da amplitude de seus impactos.

5 Conclusão

As alterações climáticas tem sido, já há algum tempo, tema central nas discussões sobre cidades. Os impactos não só esperados, mas já sentidos, em função da mudança do clima, exige de governos e sociedade medidas urgentes para enfrentar um futuro marcado pela incerteza.

Ações de mitigação são fundamentais para evitar que os cenários futuros sejam ainda piores, mas não só. Atingimos índices tais de emissão de GEE, que a adaptação das cidades é agora imperativa, caso contrário, perdas cada vez maiores, serão inevitáveis.

O processo de urbanização que caracterizou o Séc. XX e início do Séc. XXI, orientado pelo uso do automóvel e pelo mercado imobiliário, contribuiu para a expansão territorial de forma desordenada e para a formação de grandes aglomerações urbanas. A possibilidade de deslocamento mais rápido e confortável trazida pelo automóvel, aumentou significativamente os índices de motorização da população e nos trouxe ao paradigma que vivemos ainda hoje de uma mobilidade responsável por grande parte as emissões de GEE. Por este motivo, os sistemas de transporte são abordados quase sempre como causa das alterações climáticas, mas pouco é dito sobre como estes serão impactados pelos efeitos da mudança do clima.

A rede de transportes é um dos sistemas principais que mantêm a cidade em funcionamento, permitindo o acesso da população à serviços básicos como trabalho, saúde, alimentação, lazer, entre outros. Ao garantir a possibilidade de mobilidade de pessoas e bens na cidade, estes sistemas desempenham papel fundamental na economia e no crescimento das mesmas, o que significa que a interrupção, paralisação ou danos na rede de transportes podem gerar grandes transtornos em meio urbano.

Os sistemas de transporte como um todo são desde sempre afetados pela variabilidade climática. Entretanto, a ameaça das alterações no clima futuro tendem a aumentar os índices de vulnerabilidade destes sistemas, com impactos não só nas infraestruturas de transporte, como nos veículos, nas operações e nos passageiros, interferindo nas suas escolhas pessoais de locomoção. Por se tratar de um sistema complexo e interconectado, os impactos nos transportes podem gerar um efeito dominó, com consequências maiores que os próprios impactos climáticos. Questões sociais como a falta de acesso, principalmente das famílias mais pobres, aos serviços

urbanos e a incapacidade de proporcionar meios de evacuação e abastecimento em situações de desastres, apontam para a necessidade de adaptação destes sistemas na busca pela resiliência urbana.

Cidades de um modo geral sofrerão com os impactos das alterações climáticas, mas principalmente aquelas localizadas em zonas costeiras de baixa elevação, expostas aos efeitos do aumento do nível médio do mar. A maioria da população mundial vive atualmente em cidades e estes números tendem a ser ainda maiores nos próximos anos, aumentando inclusive o número de megacidades, muitas delas localizadas em zonas costeiras particularmente vulneráveis à inundação. A sua localização e a grande quantidade de ativos expostos ao risco, fazem com que um evento de inundação possa caracterizar um desastre de grande magnitude nestas áreas.

As inundações são hoje o desastre ambiental com maior impacto no ambiente urbano e tem se tornado cada vez mais frequente, em função do aumento dos padrões de precipitação, da elevação do nível do mar e da maior recorrência de eventos climáticos extremos, causados pelas alterações climáticas. Os impactos destes eventos na rede de transportes urbanos podem gerar grandes perdas econômicas, afetando diretamente elementos infra estruturais, bem como através de impactos indiretos causados pela interrupção ou paralisação do sistema. Também podem acarretar em perdas econômicas quando consideradas a deterioração dos materiais utilizados nas infraestruturas, estações e veículos, em função da umidade excessiva causada pela exposição frequente à água.

O cenário climático atual, aponta para a necessidade de se buscar modos de vida mais sustentáveis, na tentativa de mitigar a ação antrópica que contribuiu grandemente para as alterações climáticas, e preparar as cidades para o enfrentamento de seus impactos. Isso inclui a necessidade de uma mudança de paradigma da mobilidade urbana, com o aumento do uso e da qualidade dos transportes públicos. Estes, no entanto, são ainda mais vulneráveis às inundações, em função da sua estrutura rígida e pouco flexível (no caso dos sistemas por trilhos), dos grandes investimentos, da quantidade de usuários que transportam e da sua função essencial como meio de resposta em momentos de desastre.

A importância do tema para o alcance da resiliência nas cidades, colocou portanto duas questões centrais para esta dissertação:

- Como as megacidades costeiras estão adaptando seus sistemas de transporte aos impactos das alterações climáticas (especificamente em relação à inundação) na busca pela resiliência?
- Quais soluções de adaptação foram adotadas no que toca os transportes públicos?

Com o propósito de compreender como as cidades, em especial as megacidades costeiras, tem lidado com a questão da adaptação de seus sistemas de transporte para enfrentar os impactos das alterações climáticas, na busca pela mobilidade resiliente, este trabalho teve como principal objetivo a criação de um sistema de apoio a processos de avaliação das opções de adaptação no setor, principalmente sob a ameaça de inundação. Uma revisão extensa da literatura permitiu a definição do recorte teórico para megacidades costeiras, por serem as mais vulneráveis e para a inundação como principal impacto das alterações climáticas, por serem os eventos que causam maior desastre.

A compreensão dos impactos das alterações esperadas para o clima futuro em megacidades costeiras e a vulnerabilidade específica dos sistemas de transporte às inundações, foram os primeiros passos necessários para o entendimento sobre a magnitude do tema e na busca por soluções, seguidas de uma revisão das categorias de adaptação às alterações climáticas. O tema da adaptação urbana para a resiliência tem sido amplamente abordado pelos governos de cidades em todo o mundo, instituições de ensino e redes internacionais de apoio à sustentabilidade e às alterações climáticas. Entretanto, a pesquisa mostrou que no que toca a adaptação no setor dos transportes a informação ainda é bastante escassa, o que prova que apesar de fundamental para o funcionamento da cidade e enfrentamento dos impactos das alterações climáticas, o setor ainda não está no centro das agendas de adaptação dos países e cidades.

A pesquisa que pretendia encontrar casos de adaptação dos sistemas de transporte à inundação em megacidades costeiras, acabou por mudar o foco devido à falta de informação específica e buscou entender a partir da escolha e definição de cidades que estivessem comprometidas com a questão da adaptação, a forma como estas tem lidado com a questão no setor dos transportes a partir dos planos de adaptação existentes.

As cidade de Nova York no Estados Unidos, Jakarta na Indonésia e Rio de Janeiro, no Brasil, foram definidas como caso de estudo em função da sua presença nas principais redes internacionais de apoio à adaptação às alterações climáticas e à resiliência, o que prova o seu engajamento com o tema, ao fato de todas elas terem em algum momento sofrido com os impactos das inundações na sua rede de transportes urbanos, e à necessidade de se apresentar casos de estudo em diferentes contextos socioeconómicos para a avaliação e comparação das abordagens.

O sistema criado com base nas estratégias de adaptação encontradas na literatura, tem como objetivo proporcionar um panorama geral, ainda que sob uma pequena amostragem de três megacidades costeiras, das abordagens sobre a questão da adaptação dos sistemas de transporte às alterações climáticas, pretendendo dar algum passo na difusão de um tema tão importante para o futuro das cidades, mas ainda pouco explorado.

Os critérios de análise permitiram a sistematização de uma série de fatores que fazem parte do processo de adaptação, bem como das soluções adotadas. O critério da coerência permitiu analisar o contexto socioeconômico ao qual cada cidade está inserida e dos esforços já feitos no sentido de compreender a vulnerabilidade de seus territórios às inundações e se as ações propostas correspondem ao diagnóstico feito. As três cidades sofrem tanto com inundações costeiras quanto terrestres, mas o plano apresentado por Jakarta não propõe soluções para a segunda, reduzindo as chances de sucesso da adaptação.

Em relação à multiplicidade de ações adotadas, como análise geral é possível perceber que a maioria das ações de adaptação surgem em resposta à eventos extremos, que em algum momento causaram danos materiais e imateriais às cidades, alertando sobre a necessidade de medidas para tornar os sistemas urbanos mais resilientes. Ainda no que diz respeito ao tipo de adaptação, a maioria das ações tem caráter planejado, envolvendo diversos setores da estrutura urbana e diferentes parceiros, o que de modo geral é considerado positivo, mas não exclui a eficácia de ações de caráter autônomo, que podem por vezes serem implementadas com maior facilidade e permite, se coordenada por um planejamento maior, o desenvolvimento de projetos mais específicos, melhor detalhados e que podem ter impactos significativos no sistema como um todo.

A proteção como estratégia de adaptação, que foi durante muito tempo a base das ações adotadas pelas cidades, com a construção de diques para evitar a entrada na água, parece estar perdendo lugar para outras estratégias como a acomodação e o aumento da redundância que é particularmente essencial no caso dos transportes. Aceitar a presença inevitável da água e reduzir a dependência de infraestruturas pesadas de engenharia, que podem falhar e causar danos inestimáveis, se associadas a ações que preparem as infraestruturas tornando-as mais resistentes, podem ser a melhor solução. A estratégia de recuar, realocando infraestruturas para o interior e permitindo a perda permanente de áreas urbanas próximas à linha de costa, não aparece como escolha em nenhum dos casos aqui estudados e não parece ser, pelo menos por enquanto, uma solução viável, principalmente em megacidades costeiras. A quantidade de população e ativos presentes nestas áreas e que teriam que ser remanejados, é extremamente alta, o que implica custos muito elevados, que poderiam ser investidos em melhorias dos sistemas.

As formas de adaptação física ainda são as mais adotadas, em especial as baseadas na engenharia e na tecnologia, como o uso de materiais mais resistentes, melhoria do sistema de bombeamento e drenagem de infraestruturas e estações, elevação de infraestruturas críticas como geradores que fornecem energia para os sistemas de trilhos, evitando que a presença da água interrompa as operações, reforço das proteções das infraestruturas, entre tantos outros. A criação de novas infraestruturas e expansão da rede de transporte também aparece como solução em todos os casos analisados, o que é essencial para o sistema de transporte público, promovendo a redundância e a melhoria na qualidade do sistema como um todo, o que vai na direção dos objetivos para uma mobilidade mais sustentável.

Além das ações com base na engenharia, medidas de adaptação com base no ecossistema tem aparecido com mais frequência e proporcionam para além da adaptação, um ganho significativo na qualidade de vida nas cidades. O aumento de áreas verdes, auxiliam na drenagem das águas urbanas com a redução do escoamento superficial e aumento das áreas de infiltração, além de reduzir a poluição do ar e os efeitos das emissões de GEE. Estas soluções podem ter particular influência sobre a modos não motorizados de deslocamento, criando maior conforto e aderência nas viagens a pé e de bicicleta.

Apesar de não serem na maioria das vezes aplicados às infraestruturas de transporte público, soluções baseadas na natureza utilizadas na cidade como um todo, podem aumentar a resiliência dos sistemas de transporte, no sentido de que reduzem a possibilidade de inundações. Estas soluções não aparecem claramente no plano apresentado por Jakarta, nem no plano estudado de Nova York, mas neste último caso, a questão não é abordada por se tratar de um plano especificamente dos sistemas de transporte de massa, e portanto, muito baseado em soluções de engenharia. Apesar disso, o plano que rege a cidade de Nova York como um todo (OneNYC), aborda amplamente a questão.

As análises apontam também a eficiência e necessidade de adaptação nas formas de serviços, principalmente no que diz respeito à coleta de resíduos sólidos nas cidades. A gestão da coleta de lixo deve ser tratada com cuidado, e a limpeza de bueiros, estradas, entre outros, deve ser mantida, evitando a obstrução dos sistemas de drenagem.

Ainda sobre as formas de adaptação, foi possível perceber um esforço de adaptação de caráter social, com o desenvolvimento de sistemas de informação e educação para capacitar cidadãos para o enfrentamento dos novos desafios. Nova York e Rio de Janeiro já usam sistemas de informação baseados em TIC para monitoramento e informação da população sobre as operações em dias normais e principalmente em caso de desastres. Ações como estas podem ter impacto significativo no aumento da capacidade adaptativa e são menos encontradas em cidades em contexto socioeconômico mais precário, onde o acesso à base de dados ainda é ainda substancialmente pequeno, bem como o acesso à análise de riscos. Apesar do Rio de Janeiro se inserir também em um contexto de cidade em país em desenvolvimento, foram feitos investimentos significativos nos últimos anos sobre o sistema de informação da cidade.

Para megacidades costeiras a existência de planos de evacuação em caso de desastres tornam-se essenciais em função da sua vulnerabilidade. Entender quais são as melhores e mais seguras rotas, os modos de transporte que permitem maiores conexões e maior facilidade de evacuação de milhares de pessoas das áreas de risco, bem como a informação em tempo hábil para que se possa programar a resposta, são pontos chaves para a manutenção da segurança da população que vive nestas cidades. Através da análise foi possível perceber que as cidades com maiores recursos e que

planejam a adaptação de forma transversal a diferentes setores e partes do governo, conseguem melhores resultados para planos de evacuação.

Também em função da disposição de maiores recursos e uma melhor qualidade no fornecimento de serviços básicos à população, cidades em países desenvolvidos possuem maior possibilidade de investimento nas questões de adaptação, apresentando medidas mais robustas e com maior flexibilidade, ou seja, capazes de enfrentar diferentes cenários futuros de alterações climáticas. Já as cidades em países em desenvolvimento, tem muitas outras questões sociais urgentes e de qualidade de vida da sua população, que exigem grande parte dos investimentos, o que significa que menos recursos podem ser alocados para as questões de adaptação, optando na maioria das vezes por medidas de baixo ou nenhum arrependimento, que são capazes de enfrentar apenas os cenários mais urgentes de adaptação, e que preferencialmente sejam capazes de gerar outros benefícios.

O atendimento da demanda por suprir necessidades fundamentais como habitação, mobilidade, educação, saneamento e saúde, são o primeiro passo no processo de adaptação, que pressupõe dentre outros aspectos, a redução da vulnerabilidade, pois torna a população melhor preparada para responder a situações adversas do clima e mais resiliente. Entretanto, existe a necessidade evidente de que tais serviços sejam fornecidos tendo em conta a situação climática atual e que ações de adaptação sejam incorporadas para evitar a perda de investimento num prazo muito curto.

A adaptação no setor dos transportes ainda enfrenta barreiras significativas tanto a nível político como técnico, o que resulta na falta de efetividade das ações, que acabam muitas vezes ficando por longos períodos, ou até agora, apenas no campo do planejamento. Esta falta de ação pode ser devido ao fato de que a adaptação ainda é vista como uma questão de longo prazo, não exigindo ações urgentes de curto prazo, porque não há prioridade política ou devido a falta de dados de referência sobre as alterações climáticas, o que poderia impedir técnicos e gestores de infraestrutura de incluir a adaptação em suas práticas e investimentos, particularmente no setor privado.

Apesar de ser um tema relativamente novo no campo da adaptação às alterações climáticas, a pesquisa apontou que cada vez mais o setor dos transportes e a mobilidade urbana devem ser trabalhadas na busca pela resiliência, não mais apenas do

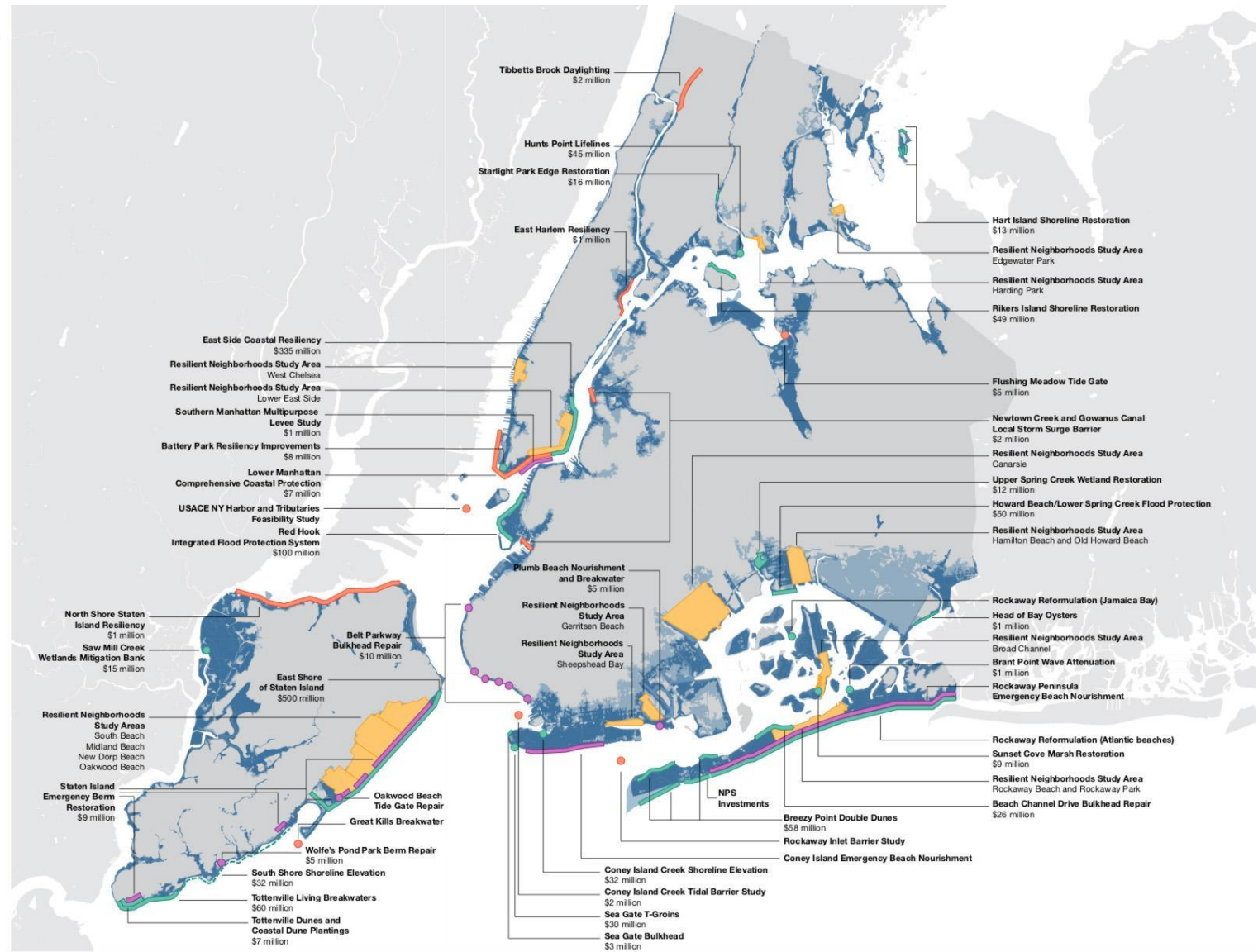
ponto de vista da mitigação, mas principalmente da adaptação para que as cidades sejam capazes de oferecer maior segurança para a população e se manterem prósperas.

6. Anexos

ANEXO I

A Resilient City Coastal Protection Project Status

- Completed
- Study Funded
- Project Funded
- DCP Resilient Neighborhoods Study Areas
- 2013 100-Year Floodplain
- 2050s 100-Year Floodplain



Floodplain Source: FEMA (Current Floodplain) NPCC 2015 (2050s Floodplain)
Note: NPCC Floodplain is a high-end projection (90th percentile). All costs are rounded estimates. Not all projects shown.

ANEXO II

CIDADES	COERÊNCIA				
	CONTEXTO SOCIOECONÔMICO		DIAGNÓSTICO		
	PAÍSES DESENVOLVIDOS	PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO	ZONA DE RISCO DE INUNDAÇÃO	TERRESTRE	COSTEIRA
NOVA YORK	1		1	1	1
JAKARTA		1	1		1
RIO DE JANEIRO		1	1	1	1

CIDADES	MULTIPLICIDADE DE AÇÕES							
	TIPO				ESTRATÉGIAS			
	ANTECIPATÓRIA	REATIVA	AUTÔNOMA	PLANEJADA	PROTEGER	ACOMODAR	RECUAR	REDUNDÂNCIA
NOVA YORK	1	1	1			1		1
JAKARTA		1		1	1			1
RIO DE JANEIRO		1		1		1		1

CIDADES	MULTIPLICIDADE DE AÇÕES									
	FORMA									
	FÍSICA				SOCIAL			INSTITUCIONAL		
	ENG.	TECN.	ABE	SERVIÇOS	EDUCACIONAL	INFORMACIONAL	COMP.	ECON.	LEIS E REG.	POLITIC./PROGRAM.
NOVA YORK	1	1		1		1			1	
JAKARTA	1									
RIO DE JANEIRO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

CIDADES	MULTIPLICIDADE DE AÇÕES						
	OBJETO						
	INFRAESTRUTURA			OPERAÇÕES	VEÍCULOS	COMPORTAMENTO	USO DO SOLO
	RODOV.	FERROV.	DRENAGEM				
NOVA YORK	1	1	1	1	1	1	
JAKARTA			1				
RIO DE JANEIRO	1	1	1	1		1	1

CIDADES	ABORDAGEM								
	SOLUÇÕES				MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO			AGENDA DE ADAPTAÇÃO	
	RECONSTRUÇÃO	RECUPERAÇÃO	ABANDONO	PLAN. EVACUAÇÃO	ROBUSTA	FLEXÍVEL	BAIXO ARREP.	PLANO/PROJETO TRANSP.	PARTE DE OUTROS PLANOS
NOVA YORK	1	1		1	1	1		1	
JAKARTA	1	1					1		1
RIO DE JANEIRO		1		1			1		1

CIDADES	EFICÁCIA					EFETIVIDADE	
	MAGNITUDE		REDUÇÃO DA VUNERABILIDADE			IMPLEM. AÇÕES	REVISÃO E MONITORAMENTO
	ESTRUTURAL	NÃO ESTRUTURAL	EXPOSIÇÃO	SENSIBILIDADE	CAP. ADAPTATIVA		
NOVA YORK	1			1	1	1	1
JAKARTA	1		1	1			
RIO DE JANEIRO	1			1	1		

7. Bibliografia

- Andjelkovic, I. (2001). *Guidelines On Non-Structural Measures In Urban Flood Management*. Paris: IHP-V, Technical Documents in Hydrology, No. 50. International hydrological programme. UNESCO.
- Apollaro, C., & Alvim, A. (dezembro de 2017). Estratégias e desafios do planejamento urbano para a adaptação de cidades frente à mudança climática. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, Volume 13, número 6*.
- Balk, D. (s.d.). *Urban Population Distribution And The Rising Risks Of Climate Change*. New York.
- Biaginia, B., Bierbaumb, R., & Missy Stultsc, S. D. (Fevereiro de 2014). A typology of adaptation actions: A global look at climate adaptation actions financed through the Global Environment Facility. *Global Environmental Change, volume 25*, pp. 97 - 108.
- Brandão, P. (2012). *O Chão da Cidade – Guia de avaliação do design de espaço de espaço público*. Lisboa.
- Brum, E. (agosto de 2015). A importância dos espaços livres públicos em estratégias de adaptação de áreas urbanas costeiras sujeitas à inundação no contexto da mudança climática. Rio de Janeiro, Brasil.
- Coelho, C. A., Valente, S. M., Pinho, L. D., & Figueiredo, E. M. (2006). O Risco ‘Suportável’: O Caso Das Cheias Em Águeda. *8o CONGRESSO DA ÁGUA*.
- Costa, J. P. (2013). *Urbanismo e Adaptação às Alterações Climáticas - As frentes de água*. Livros Horizonte.
- Davoudi, S., Crawford, J., & Mehmood, A. (2009). *Planning for Climate Change*. London.
- EEA, E. E. (2014). *Adaptation of transport to climate change in Europe: Challenges and options across transport modes and stakeholders*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Eichhorns, U. (2009). *Adapting Urban Transport to Climate Change*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- FEMA, F. E. (2016). *The Coastal Flood Risk Analysis and Mapping Process*.

- Ferreira, L. C., Garuana, L., & Seixas, C. S. (2010). Arcabouço de Análise de Vulnerabilidade de Ecossistemas Costeiros frente às Mudanças Ambientais Globais. Florianópolis: V ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS.
- GTZ, T. P. (2014). *Adapting Urban Transport to Climate Chance*.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.: Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.: Cambridge University Press, Cambridge.
- ITDP. (2015). Fonte: ITDP, Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento.
- ITDP. (2017). *Estudo Técnico - Adaptação às Mudanças Climáticas na Mobilidade Urbana*.
- Jacobs, J. (2000). *Morte e Vida das Grandes Cidades*. São Paulo: Martins Fontes Editora Ltda.
- Jaroszweski, D., Hooper, E., & Chapman, L. (2014). The impact of climate change on urban transport resilience in a changing world. *Progress in Physical Geography*, pp. 448-463.
- Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). *Cities and Flooding_A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*. Washington D.C.: Banco Mundial.
- Lemos, M. F. (2010). *Adaptação De Cidades Para Mudança Climática: Uma metodologia de análise para os planos diretores municipais*. Rio de Janeiro: UFRJ/FAU.
- Lemos, M. F. (2010). Planejamento urbano para enfrentamento de riscos ambientais, redução de vulnerabilidade sócio-climática e adaptação de cidades. *Simpósio Temático - Urbanismo na Sociedade de Risco: Violência Urbana e Vulnerabilidade Ambiental*. Rio de Janeiro: ENANPARQ.
- Magagnin, R. C., & Silva, A. N. (junho de 2008). A percepção do especialista sobre o tema mobilidade urbana. *Transportes*, pp. p. 25-35.

- Major, D. C., Omojola, A., Dettinger, M., Hanson, R. T., & Sanchez-Rodriguez, R. (2011). *Climate change, water, and wastewater in cities. Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*, C. Rosenzweig, W. D. Solecki, S. A. Hammer, S. Mehrotra, Eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Martin Parry, N. A. (2009). *Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates*. London: International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change.
- Mcgranahan, G., Balk, D., & Anderson, B. (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment & Urbanization Copyright ©*, pp. Vol 19(1): 17–37.
- Mendes, J. M. ((1.o) de 2015). Ulrich Beck: a imanência do social e a sociedade do risco. *Análise Social*. Lisboa, Portugal: Instituto de Ciências Sociais da Universidade de Lisboa.
- Meyer, M. D., Amekudzi, A., & O’Har, J. P. (2010). Transportation Asset Management Systems and Climate Change: Adaptive Systems Management Approach. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No 2160, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 12-20.
- Michael J. Savonis; Virginia R. Burkett; Joanne R. Potter. (2008). *Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: Gulf Coast Study, Phase I*. U.S. Climate Change Science Program And the Subcommittee on Global Change Research.
- Moreira, P. R. (2016). MEDIDAS DE REABILITAÇÃO URBANA EM ÁREAS DE RISCO DE CHEIA CASO DE ESTUDO DE TOMAR. Tomar.
- MTA, M. A. (2017). *Climate Adaptation Task Force Resiliency Report*. New York.
- MTA, M. T. (2017). *MTA Capital Program*. New York.
- National Research Council. (2008). *Potential Impacts of CLIMATE CHANGE CLIMATE CHANGE on U.S. Transportation: Special Report 290*. Washington, D.C.: Transportation Research Board .
- NCICD. (2014). *Master Plan National Capital Integrated Coastal Development*. Jakarta: The Coordinating Ministry for Economic Affairs, Indonesia.

- Ojima, R., & Jr., E. M. (2013). *Mudanças Climáticas e as cidades: novos e antigos debates na busca da sustentabilidade urbana e social*. Edgard Blucher Ltda.
- Oliveira, D. F. (2013). O RISCO DE INUNDAÇÃO URBANA NAS FRENTES DE ÁGUA DE DELTAS E ESTUÁRIOS EM CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS - A FRENTE RIBEIRINHA DE LISBOA. Lisboa.
- ORGANIZATION, U. M. (2012). *International Glossary of Hydrology*.
- PBMC. (2014). *Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*. Rio de Janeiro, RJ: COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Pedrosa, A. d., Abreu, C. F., & Danelon, J. R. (2016). Os riscos de inundação urbana: uma proposta de gestão das águas pluviais nos aglomerados urbanos. Em *Geografia, Cultura e Riscos*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Pelling, M., & Blackburn, S. (2013). *Megacities and the Coast: Risk, Resilience and Transformation*.
- PlaNYC. (2013). *A Stronger, More Resilient New York*. New York: The City of New York.
- Prefeitura do Rio de Janeiro; Coppe, Ufrj; Centro Clima. (2016). *Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro.
- Ramos, C. (2013). Perigos Naturais Devidos A Causas Meteorológicas: O Caso Das Cheias E Inundações. *e-LP Engineering and Technology Journal*, [S.l.], v. 4.
- Revi, A. D.-D.-M. (2014). Urban Areas. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York, USA: Cambridge University Press.
- Ribeiro, S. K., & Santos, A. S. (Novembro de 2015). Impactos, vulnerabilidades e adaptação no setor de transportes frente às Mudanças Climáticas: como a cidade do Rio de Janeiro deverá se preparar? *anpet*.
- Richard J. T. Klein, R. J. (2003). The Resilience of Coastal Megacities to Weather-Related Hazards. Em T. I. Bank, *Building Safer Cities: The Future of Disaster Risk* (pp. 101-120). Washington, DC.
- Rocha, J. S. (2001). O risco das inundações e sua gestão. Uma visão nacional e uma visão europeia. Lisboa: LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas.

- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., & Slack, B. (2016). *The geography of transport systems*.
- Santato, S., Bender, S., & Schaller, M. (2013). *The European Floods Directive and Opportunities offered by Land Use Planning*. Germany: CSC Report 12, Climate Service Center.
- Silva, V. F. (Julho de 2011). Impactes da Mobilidade no Modelo Urbano - A Sustentabilidade do Transporte Público. FCT/UNL e UNL.
- Tucci, C. E. (1997). Água no meio urbano. Em *Capítulo 14 do livro Água Doce*.
- Tucci, C. E., & Bertoni, J. C. (2003). *Inundações Urbanas Na América Do Sul*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- UN-Habitat, U. N. (2011). *Cities and climate change : global report on human settlements*.
- UNISDR. (2009). *Terminology on Disaster Risk Reduction*.
- United Nations, D. o. (2015). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. New York.
- Willows, R. a. (2003). *Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making. UKCIP Technical Report*. UKCIP, Oxford.
- Zhu, X. L. (2010). *Technologies for Climate Change Adaptation - Coastal Erosion and Flooding*. Roskilde: Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi.